

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.com

АЛГОРИТМ ИЗОБРЕТЕНИЯ



Г.С. АЛЬТШУЛЕР



Г.С.АЛЬТШУЛЛЕР



**АЛГОРИТМ
ИЗОБРЕТЕНИЯ**

e

**МОСКОВСКИЙ РАБОЧИЙ
1973**



ТЕХНОЛОГИЯ ТВОРЧЕСТВА



Один идет по темному лабиринту ощупью — может быть, на что-нибудь полезное наткнется, а может быть, лоб разобьет. Другой возьмет хоть маленький фонарик и светит себе в темноте. И по мере того, как он идет, его фонарь разгорается все ярче, наконец, преарщается в электрическое солнце, которое ему все кругом освещает, все разьясняет. Так я вас спрашиваю, где ваш фонарь!

Д. И. Менделеев

ИГОЛКА В СТОГЕ СЕНА

Теория изобретательства изучает изобретательское творчество с целью создать эффективные методы решения изобретательских задач.

В этом определении присутствует мысль, которая может показаться «еретической»: что же — существующие методы плохи и нуждаются в замене? Но ведь, пользуясь этими методами, люди сделали величайшие изобретения! На этих методах основана современная индустрия изобретений, дающая ежегодно многие десятки тысяч новых технических идей. Чем же плохи существующие методы?

Не будем торопиться с ответом на этот вопрос, посмотрим сначала, как обычно решается изобретательская задача.

Вообще-то изобретатели не очень охотно и не часто рассказывают о путях, которыми они пришли к новой технической идее. Одно из счастливых исключений — книжка Б. С. Егорова «Секрет НСЕ»¹.

Борис Сергеевич Егоров, талантливый изобретатель, подробно и объективно описывает историю создания намоточного станка. Воспользуемся этим и проследим ход мыслей изобретателя.

Итак, прежде всего — задача.

«Представьте себе большую электронно-вычислительную машину, в глубине которой несколько тысяч мельчайших кольцевых трансформаторов. Каждый из них имеет отверстие всего лишь в 2 миллиметра. На каждом из таких колечек намотан тончайший, тоньше человеческого волоса, проводок, покрытый шелковой оболочкой. Это, разумеется, надо было производить вручную, не повредив нежной изоляции. То был изнурительный труд...»

Задача ясна: есть маленькое колечко, сделанное из

¹ См. Б. С. Егоров. Секрет НСЕ. М., Профиздат, 1961.

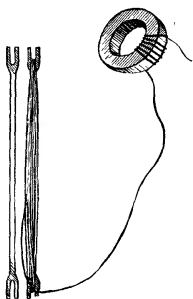


Рис. 1. Наматывать провод на колечки приходилось вручную с помощью шпули.

феррита; нужно быстро и аккуратно обмотать это колечко тонкой изолированной проволокой.

Несколькими годами раньше Б. С. Егоров успешно решил подобную задачу — тогда требовалось механизировать намотку дросселей телефонных фильтров. Внешне обе задачи совершенно подобны: есть кольцо и есть провод, которым нужно обмотать это кольцо. Но крохотное ферритовое колечко значительно меньше, чем кольцо телефонного дросселя, и это принципиально меняло задачу.

«Должен сказать, что задача, которую предстояло решить, вначале не показалась мне очень трудной. Но когда я

вплотную подошел к ней, это мнение пришлось изменить.

Трудность состояла прежде всего в том, что колечко, на которое следует наматывать провод, было размером лишь в 2 миллиметра».

Действительно, в БЭСМ-2, например, используются ферритовые тороиды марки К-28, имеющие такие размеры: внешний диаметр — 3,1 мм, внутренний диаметр — 2,0 мм, высота — 1,2 мм. В запоминающем устройстве той же БЭСМ-2 применяются еще более миниатюрные тороиды марки ВТ-1 с внутренним диаметром 1,31 мм.

Обмотку этих колечек вели вручную с помощью шпули. Шпуля представляет собой, в сущности, иглу, несущую в себе запас провода. На рис. 1 изображены в увеличенном виде и колечко и шпуля. Поперечное сечение колечка (тороида) может быть квадратным, прямоугольным или круглым — это несущественно.

Разумеется, задача сильно упростилась бы, будь колечко составным. Но ферритовые тороиды изготавливаются методами порошковой металлургии: материал прессуется, а затем спекается. Никакая обмотка не выдержит применяемых при этом давлений и температур, поэтому

приходится наматывать провод на готовое неразъемное колечко.

«Какой же величины должна быть шпुлька? Как игольное ушко? Сразу стало ясно, что от шпульки, с помощью которой осуществлялась укладка провода на моем первом станке, придется отказаться, она была бы слишком мала. Это усложняло решение вопроса. А нельзя ли обойтись без нее, заменить ее, использовать совершенно новый принцип намотки? Но каким должен быть этот принцип? Вопросы не давали мне покоя...

— А не применить ли здесь маятник?

Это мнение разделяли многие товарищи, с которыми мне приходилось советоваться. И я задумал решить задачу с помощью маятника. Принцип был прост: два маятника, а между ними кольцо; на маятнике игла; правый маятник иглой продевает провод сквозь кольцо и подводит иглу к левому. Кольцо при этом поднимается; игла идет обратно, и все повторяется сначала. Так и осуществляется намотка провода на кольцо. Удивительно просто, и при этом все делается без шпульки».

Была построена модель станка. Ее испытания дали отрицательные результаты — провод натягивался лишь тогда, когда игла находилась в крайнем положении, когда же она была в движении, провод провисал, поэтому витки ложились как попало.

«Я заново, с удвоенной энергией взялся за работу. Попробовал иначе разместить маятники, иначе расположить кольца, и так и этак пытался изменить ход работы маятников, но нить все равно провисала. Я проделал свыше трехсот экспериментов. В конце концов пришел к заключению, что от маятников надо отказаться.

Стало ясно, что следует искать иной принцип работы машины. Но какой? Перебрал несколько разных вариантов, но ни один из них не подходил. Тогда возникла мысль осуществить намотку провода с помощью сжатого воздуха, который выполнял бы роль маятников. Ту же самую иглу будет толкать через кольцо не маятник, а сжатый воздух».

Егоров построил еще одну модель станка. Но сжатый воздух не помог: провод провисал, как и в маятниковом станке.

«И тут в голову пришла мысль, что сам принцип намотки провода на кольцо не годится. Ведь во всех вари-

антах принцип был один: игла прошивает кольцо. А она не дает возможности держать провод в натяжении. Следовательно, надо отказаться от использования самой иглы и предложить взамен новый, совершенно новый принцип. Но что можно предложить взамен? На этот вопрос не мог никто ответить».

Шло время. Егоров не переставал думать о задаче. И вот однажды появилась новая идея. Случилось это в электричке.

«Я перевожу взгляд на моих соседей, и вдруг мой взор привлекает старушка, которая вяжет кружево. В руках у нее крючок. Она совершает движение рукой — и крючок делает колечко, еще движение рукой — и еще колечко. Я машинально смотрю, не отрывая глаз, на руки вязальщицы. Колечко... Колечко... Мысленно повторяю движение крючка раз, еще раз и еще. Потом я уже представляю себе движение крючка не в руках старушки, а в моем станке...

А что, если вместо шпульки и маятников применить в станке крючки? Крючок захватит провод, который пройдет через колечко. А специальной пружинкой можно будет тогда поддерживать провод в натянутом состоянии. Я достаю иглу с ниткой, делаю из иглы крючок, и пытаюсь повторить движения старушки. Раз... другой. Неужели в этом обыкновенном крючке секрет намоточного станка, неужели найдена разгадка казавшейся неразрешимой задачи? Да, так и есть. Витки ложатся на кольцо ровно. Это и есть тот самый принцип, который я так долго искал. С помощью крючков можно осуществить крепкую, надежную намотку витков на кольцо».

Так появился принцип намоточного станка — знаменитого НСЕ.

Что можно сказать о путях, которыми шел изобретатель?

Некоторые особенности сразу бросаются в глаза. Поиски велись, в сущности, наугад. Или, как говорят психологи, методом «проб и ошибок». Возникла идея: «А если сделать так?» Затем следовала ее теоретическая или практическая проверка. Одна идея оказывалась неудачной, выдвигалась вторая, третья...

Схематически этот метод изображен на рис. 2. От точки, которую мы назовем «Задача», изобретатель должен попасть в точку «Решение». Где именно находится эта

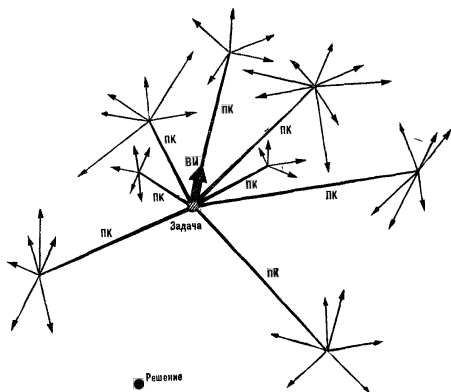


Рис. 2. Схема поиска методом «проб и ошибок».

точка, заранее, конечно, неизвестно. Изобретатель создает определенную поисковую концепцию ПК, т. е. выбирает направление поисков («И я задумал решить задачу с помощью маятника»). Начинаются «броски» в выбранном направлении (они условно обозначены стрелками): «А если попробовать так?» А потом становится ясно, что неправильна вся поисковая концепция — поиски идут не в том направлении («В конце концов пришел к заключению, что от маятников надо отказаться»). Изобретатель возвращается к задаче, выдвигает новую поисковую концепцию («Тогда возникла мысль осуществить намотку провода с помощью сжатого воздуха...») и начинает новую серию «бросков».

В практике количество попыток обычно намного больше, чем изображено на схеме. Егоров говорит о трехстах модификациях одной только первой модели станка, вообще же при поисках решения методом «проб и ошибок»

количество попыток очень велико. Требуются тысячи, иногда и десятки тысяч «а если?», чтобы нащупать удачное решение.

И еще одна очень важная особенность. На схеме стрелки расположены гуще в направлении, п р о т и в о п о л о ж н о м «Решению». Это, конечно, не случайно. Дело в том, что пробы не так хаотичны, как кажется на первый взгляд. Приступая к поискам, изобретатель опирается на свой предыдущий опыт. Егоров однажды уже создал станок для намотки телефонных дросселей, и при решении новой задачи мысль сначала неизбежно шла в привычном направлении: нужна — как и в прошлый раз — шпуля, но она должна быть очень тонкой; замечем ее иглой, т. е. той же шпулей, но без запаса провода.

В сущности, безуспешность почти всех попыток вызвана стремлением так или иначе использовать иглу. Эта первоначальная тенденциозность показана на схеме «вектором инерции» ВИ, выходящим из точки «Задача» и направленным в сторону от «Решения». Большим шагом вперед была мысль, что от иглы нужно вообще отказаться...

* * *

Мы еще продолжим разговор о методе «проб и ошибок». Но у читателя уже сейчас есть отличная возможность самому испытать этот метод.

Задача I

Станок Егорова хорошо справляется с намоткой колечек, если их внутренний диаметр не менее 2 мм. Однако миниатюризация электронных машин требует более мелких колечек. Как и раньше, их обмотку приходится вести вручную. Как ее механизировать? Попробуйте решить эту задачу. Без теории изобретательства.

Задача предельно наглядна: имеется колечко, сделанное из феррита; внутренний диаметр колечка, скажем, 0,5 мм. Имеется также тонкая изолированная проволока. Надо механизировать намотку.

Количество витков провода, вообще говоря, зависит от назначения тороида и меняется в широких пределах: в

тороидальных трансформаторах их обычно несколько сотен, тороидальные элементы запоминающих устройств имеют всего по три витка. Допустим для конкретности, что на каждое колечко надо нанести двадцать витков проволоки.

Два дополнительных соображения. Первое: задача учебная, поэтому нельзя ее изменять, т. е. предлагать решения, связанные с отказом от применения ферритовых колечек. Второе: способ намотки может быть каким угодно, однако он должен обеспечивать высокую производительность: в запоминающем устройстве электронной машины используются сотни тысяч и даже миллионы колечек.

Для решения этой задачи не нужны какие-либо узкоспециальные знания. Но найти хорошее решение методом «проб и ошибок» вряд ли удастся даже опытному изобретателю. По правде сказать, я уверен — вы, читатель, не решите задачу. Тут довольно простой расчет. Предположим, вы не менее талантливы, чем Эдисон. Но ведь и Эдисону, по его собственному признанию, приходилось работать над одним изобретением в среднем семь лет. По крайней мере треть этого времени уходила на поиски и д е и.

Вот что писал изобретатель Николай Тесла, работавший одно время в лаборатории Эдисона: «Если бы Эдисону понадобилось найти иголку в стоге сена, он не стал бы терять времени на то, чтобы определить наиболее вероятное место ее нахождения. Он немедленно с лихорадочным прилежанием пчелы начал бы осматривать соломинку за соломинкой, пока не нашел бы предмета своих поисков. Его методы крайне неэффективны. Он может затратить огромное количество времени и энергии и не достигнуть ничего, если только ему не поможет счастливая случайность. Вначале я с печалью наблюдал за его деятельностью, понимая, что небольшие теоретические знания и вычисления сэкономят бы ему тридцать процентов труда. Но он питал неподдельное презрение к книжному образованию и математическим знаниям, доверяясь всецело своему чутью изобретателя и здравому смыслу американца».

Вы вряд ли решите задачу о намотке, но все-таки сделайте несколько попыток. В дальнейшем мы посмотрим, как эта задача решается с помощью методики изобрета-

тельства. И тогда вы сможете, основываясь на своем опыте, сопоставить поиски решения путем «проб и ошибок» с планомерными методами, о которых рассказывает эта книга.

* * *

Намоточный станок создан талантливым рабочим-изобретателем. Ну, а если поиски решения ведет ученый? Повышается ли тогда эффективность метода «проб и ошибок»?

Некоторое время назад в журнале «Изобретатель и рационализатор» была опубликована статья кандидата технических наук Е. Веретенникова.

Это еще один из тех редких случаев, когда изобретатель говорит о путях, которыми он пришел к новой идее. Задача, решенная Е. Веретенниковым, не отличается особой сложностью, а наличие у изобретателя ученой степени делает этот случай достаточно показательным.

Вот что рассказывает изобретатель:

«Наш Куйбышевский индустриальный институт сотрудничает с Куйбышевским долотным заводом. Завод выпускает долота. Мне кажется, любой, кто попадет на участок сборки шарошечных долот, обязательно подумает: «Нельзя ли делать это как-нибудь по-иному?» Картина, мягко говоря, малоприглядная. Цапфу лапы долота обмазывают густой солидолово-графитной смазкой. Эта смазка играет роль клея. Она удерживает на двух горизонтальных площадках — дорожках качения цапфы — устанавливаемые там ролики подшипника, которые иначе соскальзывали бы в разные стороны. Когда два ряда роликов составлены, на цапфу надевают шарошку. Сборка производится обнаженными руками. На кожу минеральные масла действуют вредно. Кроме того, в этой массе иногда попадаются острые металлические занозы, ранящие руки сборщика. Труд тяжелый, требует высокой квалификации.

Подобный тип сборки, когда необходимо предварительное удерживание деталей в определенном положении друг к другу, весьма распространен. Для промежуточной фиксации пользуются струбцинами, стяжными хомутами, обоймами, применяют временное прихватывание деталей пайкой или сваркой, клеящими веществами или, как в данном случае, густыми липкими смазками.

Сборка шарошечных долот заставила меня задуматься над тем, как, например, удерживать ролики на цапфе при надевании сверху шарошки?»

Итак, задача состоит в следующем.

Для сборки секции бурового долота нужно сначала обложить шарошку двумя рядами роликов. Роликов в ряду несколько десятков. Понятно, что придерживать руками одновременно все ролики невозможно. Значит, нужно найти какой-то способ (вместо «приклеивания» густой мазью), позволяющий удерживать ролики на дорожках качения цапфы до момента, пока цапфа не вставлена в шарошку. Способ этот должен быть простым, производительным, допускающим в дальнейшем автоматизацию сборки.

«Первое, что пришло в голову,— рассказывает далее изобретатель,— была, конечно, веревка. Связать! Но как вытащить ее после сборки? Что ж, можно связать такой пленкой, которая в дальнейшем бесследно растает, растворившись в масле. Пожалуй, это выход... если не считать, что автоматизация сборки ничуть не упрощена.

Дальнейшие раздумья привели к решению, которое оказалось удачным. Надо прилеплять ролики к цапфе, но не клеем и никаким другим веществом. Их будут удерживать магнитные силы!»

Скажем сразу: Е. Веретенников сделал хорошее изобретение. История этого изобретения — плохой роман с хорошим концом. В самом деле, задача возникла давно, и тогда уже существовали средства, необходимые для ее решения. Изобретение запоздало по меньшей мере на 20—30 лет! Е. Веретенников сам подчеркивает, что каждому, кто попадает на участок сборки, обязательно бросится в глаза необходимость усовершенствовать сборку долот. Задача словно кричала: «Пожалуйста, обратите на меня внимание! Ведь так важно и так нетрудно найти решение!» Но люди проходили мимо...

Это не случайность: в каждой отрасли производства имеется большое число изобретений, которые нужно и можно сделать (при современном развитии науки и техники), но которые еще не сделаны.

Посмотрим теперь, как шла работа изобретателя. Первая мысль — «конечно, веревка». Тут примечательны и «конечно» и «веревка». Исходный пункт размыш-

лений — существующие конструкции (стяжные хомуты и т. д.). Использовать хомут — «металлическую веревку» — невозможно. Отсюда мысль: применить «просто веревку».

Идея «веревки» настолько сковывала воображение изобретателя, что он никак не хотел с ней расставаться. И следующий шаг — снова «веревка» (вот он, «вектор инерции»!), на этот раз пластмассовая... Понятно, что и этот современный вариант «веревки» тоже не привел к решению задачи.

Последовали дальнейшие раздумья, которые наконец дали правильное решение: надо использовать магнитные силы.

Между тем задача эта из числа тех, в которых точная формулировка вопроса автоматически дает нужный ответ. Творчество здесь состоит в самом выборе задачи! Требуется, повторяем, чтобы ролики, укладываемые при сборке вокруг цапфы, не падали до тех пор, пока цапфа не вставлена в шарошку. Металлическая деталь должна прижиматься — на время — к другой металлической детали.

Достаточно так поставить задачу, и из десяти человек, обладающих знаниями в объеме восьми классов средней школы, пять сразу же ответят: «Магнит!»

Можно еще уточнить задачу: металлическая деталь должна «без ничего» (идеальный случай) прижиматься к другой детали (не сильно, только для уравнивания своего веса). В этом случае из десяти ответов восемь или девять будут правильными.

В дальнейшем, когда мы ближе познакомимся с методикой изобретательства, станут очевидными и другие ошибки, допущенные при решении этой задачи. Но уже сейчас можно сделать некоторые выводы:

1. Изобретатель шел от известного к неизвестному: взял в качестве прообраза уже существующее приспособление (металлический хомут) и попытался его видоизменить. Это дало серию неудачных решений.

Так получилось и у Егорова. Может быть, «вектор инерции» всегда направлен в сторону от решения?..

2. Правильное решение потребовало от изобретателя принципиально иного подхода. Каков был путь к этому новому принципу, от изобретателя ускользнуло. Он уверенно и логично объясняет, как происходил переход от

одной неудачной идеи к другой; а затем — разрыв и вместо объяснения ничего не значащие слова: «дальнейшие раздумья привели...».

Вспомним, что Егоров тоже не объясняет, почему правильная идея не появилась раньше.

3. Насколько удачен итог решения, настолько же несовершенен метод поисков этого решения.

Магнитная сборка могла быть изобретена значительно раньше. Давно назрела экономическая необходимость в этом изобретении, и давно появилась техническая возможность его сделать. Но изобретатели либо не замечали задачи, либо не брались за нее всерьез. Был допущен своеобразный «простой» задачи. И расплачиваться за него приходилось дорого: тяжелая и грязная работа годами выполнялась вручную.

Конечно, если говорить об исторически большой дистанции, изобретения появляются закономерно. Так, парокот не мог быть создан раньше появления парового двигателя, а паровой двигатель изобрели, когда возникла экономическая необходимость. Однако зачастую изобретения опаздывают без уважительных причин: есть все объективные условия, чтобы изобрести нечто, а это нечто никак не изобретается...

Закономерный ход исторического развития техники вовсе не означает, что можно сидеть сложа руки, а изобретения, из уважения к законам развития техники, будут появляться сами по себе. «Изобретательская промышленность», выпускающая ценнейшую продукцию — новые технические идеи, работает, в сущности, кустарными методами. «Продукции» выпускается меньше, и она худшего качества, чем это возможно. Порой даже трудно понять, почему та или иная «изобретательская продукция» не появилась значительно раньше.

Можно привести такой пример. Еще на заре автомобиллзма на двигателе устанавливали вентилятор. И уже тогда каждый шофер знал: при низкой температуре воздуха вентилятор не нужен, более того, он вреден — напрасно тратит энергию, переохлаждает двигатель. Но выключающийся вентилятор был изобретен лишь в 1951 году! Тут «простой» затянулся почти на столетие, и платить за это пришлось реками бесполезно сожженного горючего.

Посмотрим теперь, какова «технология творчества» в более сложных случаях. Возьмем для примера историю изобретения менискового телескопа.

Еще до войны ленинградский оптик Д. Д. Максutow работал над созданием школьного телескопа. Задача состояла в том, чтобы дать простой, дешевый и хороший прибор, способный противостоять всем невзгодам школьной жизни. Известные системы телескопов были сложны, дороги и требовали очень осторожного обращения. Все попытки упростить и удешевить конструкцию приводили к ухудшению оптических качеств. Максutowу никак не удавалось «совместить несовместимое».

«Менисковые системы,— рассказывает изобретатель в книге «Астрономическая оптика»,— были изобретены мной в первых числах августа 1941 года, где-то на пути между Муромом и Арзамасом во время эвакуации из Ленинграда.

Оставляя Ленинград, а вместе с ним и подготавливавшееся массовое производство школьных телескопов, над реализацией которого с сомнительным успехом прохлупотал половину своей жизни, я задумался над печальной судьбой своего детища. На долю занятого человека редко выпадает возможность две недели ничего не делать и фантазировать на интересующие его темы.

Все ли хорошо в разработанной конструкции школьного рефлектора? Нет, не все хорошо, в частности зеркала, хотя бы и алюминированные, будут быстро выходить из строя. Рефлектор с открытой трубой вряд ли долго проживет в школе. Достаточно уборщице один раз стереть с зеркала пыль, и оно будет испорчено. Прикрыть трубу стеклом? Это, конечно, защитит зеркало. Но из чего сделать стекло? Простое стекло дешево, однако оно поглощает много света. Оптическое стекло хорошо, зато и стоимость его высока».

«Как же улучшить конструкцию? — продолжал размышлять изобретатель.— Единственный, казалось, выход — усложнить конструкцию, расположив в передней части трубы плоскопараллельное защитное окно. Введение плоскопараллельного окна из оптического стекла значительно удорожит инструмент...»

Обо всем этом изобретатель думал много лет. И каждый раз останавливался перед очевидным фактом: про-

стое стекло не годится, а оптическое слишком дорого. Но в поезде Максutow, как он сам подчеркивает, «фантазировал». Иначе говоря, он мог уйти в сторону от «вектора инерции»: проверить варианты, которые считались заведомо невыгодными, произвольно допустить нечто фантастическое. И он мысленно сделал такое допущение: предположим, что оптическое стекло вдруг стало совсем дешевым, тогда сразу появится возможность установить на рефлекторах защитные окна. Что это даст? Прежде всего — продлится жизнь зеркала.

«Герметическая труба приятна еще и в том отношении, что в ней устраниаются конвекционные потоки воздуха.

Мысль идет дальше и находит еще одно преимущество телескопа с защитным окном: к окну можно привязать диагональное зеркало, высверлив, например, в окне отверстие, пропустив через него хвост оправы диагонального зеркала, а затем приболтив этот узел к защитному окну. Мы освобождаемся от стойки или растяжек, поглощающих свет, порождающих дополнительные помехи».

Здесь Максutow делает первый шаг на пути к изобретению. Оптическое стекло — нечто вроде неизбежного зла. Ладно, говорит изобретатель, пусть будет оптическое стекло! Но, раз уж приходится его использовать, нельзя ли получить, в порядке своего рода компенсации, какие-то дополнительные преимущества?

Достаточно было поставить вопрос так, чтобы не только специалист, но и вообще каждый человек, знакомый с устройством телескопа, дал правильный ответ. Около входного отверстия трубы укреплено плоское зеркальце, направляющее лучи рефлектора в глаз наблюдателя. Раньше система крепления поглощала много света, теперь же это зеркальце (его называют еще вторичным зеркалом) можно прикрепить непосредственно к защитному окну.

«Но мысль идет дальше. Нельзя ли... выполнить защитное окно не в виде плоскопараллельного диска, а в виде мениска, чтобы заалюминированная его центральная часть служила вторичным зеркалом?»

Тут уже не только упрощается крепление вторичного зеркала, а исчезает, в сущности, само зеркало. Функцию вторичного зеркала «по совместительству» будет выполнять центральная часть защитного окна.

«Такая конструкция очень хороша (у вторичного зеркала исчезла оправка, экранирование стало минимальным), но не внесет ли мениск вредных аберраций? По-видимому, внесет (не ахроматическую, а сферическую аберрацию, притом как положительную, так и отрицательную).

И тут-то я чуть-чуть не упустил важного открытия, рассудив, что в таком случае можно рассчитать мениск, не вносящий аберрации, т. е. безабберрационный мениск».

Внимательно вчитайтесь в эти строки. Изобретателю надо было преодолеть два барьера. Первый барьер — защитное стекло должно быть сделано из дорогого оптического стекла. Выяснилось, что удорожание можно компенсировать: расходы на оптическое стекло окупаются тем, что защитное окно будет выполнять не одну, а несколько функций. Значит, не обязательно прыгать через барьер, можно его обойти...

Но вот изобретатель подошел ко второму барьеру: потребовалось устранить искажения, создаваемые мениском. Казалось, тут бы и применить только что найденный метод компенсации. Пусть аберрация — еще одно неизбежное зло. Надо компенсировать это зло, извлечь из него какую-то пользу, а не устранять!

Однако здесь и проявилась слабость метода «проб и ошибок». На первый взгляд кажется, что пробы беспорядочны. Но в этом беспорядке есть своя система: пробы ведутся по линии наименьшего сопротивления. Легче всего пробовать в привычном направлении, и изобретатель, сам того не замечая, идет туда, где дорога более накатана (и где поэтому вряд ли можно найти новое). Возобновляются попытки перепрыгнуть через барьер, хотя буквально за несколько минут перед этим было открыто, что можно не прыгать, а идти в обход...

«На этих мыслях,— продолжает Максutow,— задержался несколько часов, пока не додумался, что значительно выгодней выбрать такой мениск, который вводит в систему положительную аберрацию, способную компенсировать отрицательную аберрацию сферического зеркала или сферических зеркал.

В этот момент и были изобретены менисковые системы».

Таким образом, второй барьер был преодолен тем же методом компенсации. Мениск искажает световой поток,

и изобретатель понял, что с этим не надо бороться. Выгоднее использовать создаваемые мениском искажения для ликвидации других искажений, вызванных погрешностями при изготовлении главного зеркала телескопа — рефлектора.

Изготовление параболического рефлектора — исключительно сложная и трудоемкая работа. Изобретение МаксUTOва позволило заменить параболические рефлекторы неизмеримо более простыми в изготовлении сферическими зеркалами. Раньше сферические зеркала нельзя было применять из-за того, что они создают очень большие искажения. Теперь появилась возможность компенсировать искажения рефлектора искажениями, создаваемыми мениском. Несовершенный (в оптическом смысле) рефлектор и несовершенный мениск, работая спаренно, давали вполне совершенную оптическую систему!

МаксUTOв пишет:

«Работая над теорией менисковых систем и видя их преимущества, невольно вспоминаешь тернистый путь истории оптического приборостроения. Сколько было изложено копий в борьбе сторонников рефлектора и рефрактора! Сколько было затрачено энергии, с одной стороны, на овладение методикой изготовления и исследования точных асферических поверхностей, а с другой — на разрешение проблемы ахроматических стекол! Сколько изготовлено флинтгласа и других трудоемких сортов стекла для тех случаев, в которых их можно было бы и не применять! Наконец, сколько построено дорогих, громоздких и несовершенных телескопов с не менее дорогим и громоздким механическим оборудованием и дорогими помещениями с огромными вращающимися куполами!

Если бы на заре астрономической оптики был известен элементарно простой принцип менисковых систем, в основном доступный пониманию современников Декарта и Ньютона, то астрономическая оптика могла бы пойти по совершенно иному пути и иметь ахроматическую короткофокусную оптику со сферическими поверхностями, базирующуюся лишь на единственном сорте оптического стекла, безразлично с какими константами»¹.

¹ Д. Д. МаксUTOв. Новые катадиоптрические менисковые системы. Труды Государственного оптического института, т. XVI, вып. 124. Л., 1944, стр. 15.

Итак, первостепенное по своему значению изобретение на этот раз запоздало на 250—300 лет!

Какова же его дальнейшая судьба?

Построив менисковый телескоп, Максutow использовал найденную идею для конструирования менисковых микроскопов, биноклей и других оптических приборов. Но даже в оптике идея Максutowа была применена только к решению задач, как две капли схожих с первоначальной. Если же задача оказывалась несколько иной, ее не решали вообще или решали, заново проделывая весь тот путь, по которому прошел в свое время Максutow.

Вот история одного из таких изобретений. Обратите внимание — ход рассуждений и полученное решение поразительно напоминают историю изобретения менискового телескопа.

«Идея возникла случайно. Знал я одного человека — он тоже подводник-любитель, много лет носил очки. А под водой?.. Я посоветовал ему сделать маску из плексигласа и выфрезеровать на ней линзы, соответствующие стеклам очков. Идея была заманчива, но это доступно не каждому.

И вдруг оказалось, что решение проблемы находится в... воде. Если сделать плоскопараллельное стекло маски выпуклым, то граница двух сред — воды и воздуха — будет для наблюдателя вогнутой, рассеивающей лучи света, как вогнутые стекла очков. У спортсмена, о котором я упомянул, стекла очков имели минус 2—3 диоптрии. Как показали наши опыты, это эквивалентно стеклу маски с радиусом выпуклости в 15—10 см. Вот тут-то я и понял: дело совсем не в очках. Ведь под водой удаленные предметы видятся искаженно: крупнее и ближе. Но если сделать радиус выпуклости маски 20—25 см, увеличение, передаваемое водой, исчезнет, подводный мир предстанет перед нами в натуральную величину и куда более четко»¹.

Подобно Максutowу, изобретатель начал с мысли о том, что нужно убрать лишнюю «крепежную систему» и прикрепить линзы на иллюминаторе маски. Затем пришла догадка: проще вообще обойтись без очков, сделав иллюминаторы выпуклыми, то есть превратить их в ме-

¹ В Маслаев. Маска очки. «Техника — молодежи», 1962, № 7, стр. 27.

ниск. Но мениск «по совместительству» можно использовать, чтобы устранить искажения, которые неизбежны при наблюдении через плоский иллюминатор маски. Так сформулировалась новая техническая идея. Значение ее очень велико, потому что производительность труда водолаза во многом зависит от условий видимости.

Самое ценное в изобретении МаксUTOва — идея допустить недопустимое и потом это компенсировать. Можно смело утверждать, что среди многих не решенных современной техникой задач есть и такие, которые удалось бы решить «методом компенсации». Однако метод этот мало кому известен. Сотни раз описаны менисковые телескопы, но нет ни одной работы, в которой бы говорилось: вот удачная тактика решения самых различных изобретательских задач, используйте ее не только в оптике, но и в других отраслях техники...

* * *

До сих пор мы говорили об изобретателях, решавших задачи в одиночку. Может быть, в крупных коллективах дело обстоит иначе? Может быть, там существует более эффективная технология творчества?

Послушаем, что рассказывает генеральный авиационный конструктор Олег Константинович Антонов:

«Когда конструировали «Антея», особенно сложным был вопрос о схеме оперения. Простой высокий киль с горизонтальным оперением наверху при всей ясности и заманчивости этой схемы, рекомендованной аэродинамиками, сделать было невозможно — высокое вертикальное оперение скрутило бы, как бумажный пакет, фюзеляж самолета, имевший огромный вырез для грузового люка шириной 4,4 метра и длиной 17 метров.

Разделить вертикальное оперение и повесить «шайбы» по концам стабилизатора тоже было нельзя, так как это резко снижало критическую скорость флаттера оперения.

Время шло, а схема оперения не была найдена»¹.

Современное авиационное КБ — коллектив, планомерно работающий по общей программе. Генеральный конструктор думает о задаче не в одиночку. Каждым узлом самолета занимается группа талантливых конструкторов, располагающих самой свежей информацией обо всем, что

¹ «Литературная газета», 14 августа 1968 г.

относится к их специальности. Но если останавливается одна такая группа, это сбивает ритм работы всего коллектива. Нетрудно представить себе, что стоит за простой фразой: «Время шло, а схема оперения не была найдена».

«...Как-то раз, проснувшись ночью,— продолжает О. Антонов,— я стал, по привычке, думать о главном, о том, что больше всего заботило и беспокоило. Если половинки «шайбы» оперения, размещенные на горизонтальном оперении, вызывают своей массой флаттер, то надо расположить «шайбы» так, чтобы их масса из отрицательного фактора стала положительным... Значит, надо сильно выдвинуть их и разместить впереди оси жесткости горизонтального оперения...

Как просто!

Я тут же протянул руку к ночному столику, нащупал карандаш и записную книжку и в полной темноте набросал найденную схему. Почувствовав большое облегчение, я тут же крепко заснул».

Обратите внимание: сначала Антонов, как и Максудов, безуспешно пытался убрать вредный фактор. У Максудова вредным фактором была абберрация, у Антонова — масса. А решение оказалось одинаковым: надо не убирать вредный фактор, а сделать его полезным.

Быть может, сегодня в каком-нибудь КБ снова пытаются устранить какой-то вредный фактор. Снова бьются о стенку. А рядом — открытая дверь...

* * *

Теперь нетрудно ответить на вопрос, поставленный в начале главы. Методика изобретательства нужна:

чтобы изобретательские задачи не «простаивали» и вовремя попадали в поле зрения изобретателей;

чтобы решение изобретательских задач осуществлялось с возможно более высоким коэффициентом полезного действия;

чтобы однажды найденные приемы использовались и при решении других технических задач, избавляя изобретателей от необходимости каждый раз заново вести трудные и долгие поиски.

УРОВНИ ТВОРЧЕСТВА

Изобретательство — древнейшее занятие человека. Собственно, с изобретения первых орудий труда и начался процесс очеловечивания наших далеких предков. С тех пор были сделаны миллионы изобретений. Но вот что удивительно: изобретательские задачи становились все более сложными, а методы их решения почти не совершенствовались. Как правило, изобретатели шли к цели путем «проб и ошибок».

«Изобретатель не знает ни благоразумия, ни предусмотрительности, ни их младшей сестры — медлительности, — пишет французский исследователь Шарль Николь. — Он не исследует и не занимается софизмами. Он сразу бросается на неисследованную область и этим самым актом побеждает ее. Проблема, окутанная туманом, которую обычный слабый свет не мог обнаружить, вдруг как бы озаряется светом молнии. И тогда рождается новое творение. Такой акт ничем не обязан ни логике, ни разуму»¹.

Вот что говорит современный американский изобретатель Дж. Рабинов: «Было бы очень удобно, если бы изобретения были результатом логического и упорядоченного процесса. К сожалению, обычно это не так. Они представляются продуктом того, что психологи называют «интуицией» — неожиданной вспышки вдохновения, механизм которого лежит в глубинах человеческого разума»².

Как и Николь, Рабинов не считает творческий процесс логическим. Однако в том, что говорит Рабинов, есть и свои оттенки. С точки зрения Николь, изобретатель прекрасно обходится без «благоразумия»: бросился

¹ Ch. Nicolle *Biologie de l'invention* Paris, 1932, p. 5

² Дж. Рабинов. Почему люди изобретают. «Изобретатель и рационализатор», 1966, № 7, стр. 15.

на задачу — и победил. Рабинов рисует картину менее радужную и более близкую к действительности: бросился... и долго перебирал всевозможные варианты. И уж только потом победил.

Подобных высказываний можно привести множество, и все они — плод идеалистического мышления.

Выдающийся советский изобретатель Г. Бабат сравнивал творческую работу с восхождением на крутую гору: «Бредешь, отыскивая воображаемую тропинку, попадаешь в тупик, приходишь к обрыву, снова возвращаешься. И когда наконец после стольких мучений доберешься до вершины и посмотришь вниз, то видишь, что шел глупо, бестолково, в то время как ровная широкая дорога была так близка и по ней легко было взойти, если бы раньше ее знал»¹.

Г. Бабат очень точно подметил характернейшую особенность творческого процесса: за «бестолковость» поисков приходится расплачиваться огромной затратой сил и времени. Не удивительно, что уже давно возникла мысль о необходимости как-то упорядочить поиски, найти правила выхода на «ровную и широкую дорогу», создать науку о решении творческих задач — эвристику.

Слово «эвристика» впервые появилось в трудах греческого математика Паппа Александрийского, жившего во второй половине III века нашей эры. Впоследствии о необходимости изучения творческого мышления говорили многие выдающиеся ученые, в том числе Лейбниц и Декарт. Постепенно накопилось множество наблюдений, свидетельствующих, что какие-то эвристические правила действительно существуют. Укреплялась уверенность в принципиальной познаваемости творческих процессов, но изобретатели продолжали (и сегодня еще продолжают) работать методом «проб и ошибок».

Почему же эвристика за семнадцать веков ее существования не создала эффективных методов решения изобретательских задач?

Прежде всего потому, что эвристика с самого начала ставила слишком общую цель: найти универсальные правила, позволяющие решать любые творческие задачи во всех отраслях человеческой деятельности. Античная фи-

¹ Г. Б а б а т. Сбывшееся и несбывшееся. Сб. «Пути в неизвестное», 1962, стр. 581.

лософия всегда стремилась к отысканию немногих «изначальных» элементов, пригодных для объяснения широкого круга явлений. Вспомним хотя бы учение Аристотеля, согласно которому вещество построено из пяти элементов: огня, воздуха, воды, земли и эфира. В таком же примерно духе мыслилось и выявление «всеобщих элементов» творчества.

Разумеется, всем видам творчества присущи некоторые общие признаки. Но, ограничиваясь рассмотрением только этих универсальных (и в значительной мере внешних) признаков, трудно продвинуться дальше самых первоначальных представлений.

Примечательны в этом отношении работы П. Энгельмейера. Используя богатый фактический материал, этот талантливый русский исследователь предложил следующую схему творческого процесса.

Первый акт — акт интуиции и желания. Происхождение замысла.

Второй акт — акт знания и рассуждения. Выработка схемы или плана.

Третий акт — акт умения. Конструктивное выполнение изобретения.

В принципе все верно: каждый творческий процесс включает замысел (постановку задачи), нахождение новой идеи (решение задачи) и разработку этой идеи (конструктивное ее воплощение). Но схема настолько неконкретна, что практически ничего не дает изобретателю.

Справедливости ради, надо отметить, что П. Энгельмейер, как и многие другие исследователи, не задавался целью создать практически работоспособную систему решения изобретательских задач. Вплоть до недавнего времени считалось, что производство изобретений вполне удовлетворяет спрос. Какая, в сущности, разница, сколько попыток сделал изобретатель, если в конце концов задача успешно решена?

«Индустрия изобретений» работала прадедовскими методами, но с заданием справлялась. Стоит ли удивляться, что разработка эвристики шла довольно вяло?

Положение осложнялось еще и тем, что проблему пытались решать с позиций узкой специализации. Историки техники, как правило, полностью игнорировали психологические особенности творческого процесса. А психоло-

ги, в свою очередь, не учитывали объективные закономерности исторического развития науки и техники, их интересовали главным образом индивидуальные творческие особенности выдающихся ученых и изобретателей. Так, в 1926 году американские психологи С. Кокс и Л. Термен опубликовали работу под примечательным названием «О ранних умственных чертах 300 гениев». Впоследствии Л. Термен и М. Иден на протяжении 25—30 лет изучали судьбу 1000 наиболее одаренных учащихся и написали трехтомное «Исследование гениальности».

Сами изобретатели долгое время также не стремились «прояснить» творческий процесс. Изобретателей было немного, ореол исключительности явно импонировал большинству из них. В двадцатых годах американский психолог Росман провел анкетный опрос изобретателей. Был, в частности, задан и такой вопрос: «Считаете ли Вы, что изобретательские способности прирожденные или изобретательству можно учиться?» Семьдесят процентов изобретателей ответили: «Научиться изобретать нельзя. Чтобы стать изобретателем, нужно иметь природные дарования». При этом никто из отвечавших на анкету Росмана не мог толком объяснить, в чем же они состоят, эти природные дарования.

Вскоре после этого опроса (в 1931 году) появилась книга Росмана «Психология изобретателя». В ней говорилось: «Мы в настоящее время практически ничего не знаем о психологическом процессе, создающем изобретение. Мы не знаем ни условий, благоприятных для создания изобретения, ни особенностей и характерных черт изобретателя».

Собрав множество интересных фактов, Росман не выявил сути изобретательского творчества. Выводы Росмана скромны: он ограничился приближенной схемой творческого процесса. Выглядит эта схема так:

1. Усмотрение потребности или трудности.
2. Анализ этой потребности или трудности.
3. Просмотр доступной информации.
4. Формулировка всех объективных решений.
5. Критический анализ этих решений.
6. Рождение новой идеи.
7. Экспериментирование для подтверждения правильности новой идеи.

В свое время Юлий Цезарь, завоевав Вифинию, сооб-

шил об этом в Рим тремя словами: «Пришел, увидел, победил». Представьте себе, что, основываясь на этом историческом факте, кто-то изложил бы принципы военного искусства так: «Первая фаза — пришел. Вторая — увидел. Третья — победил...» А ведь нечто подобное этому и представляет собой схема Росмана: она перечисляет в хронологическом порядке основные этапы работы над изобретением, и только. При этом в один ряд поставлены совершенно различные процессы, например просмотр информации и рождение идеи изобретения. Получить информацию можно в библиотеке, тут все просто. Но как сделать, чтобы идея «родилась», и при том здоровой и сильной?.. Росман не смог ответить на этот вопрос, технология изобретательства осталась нераскрытой.

В 1934 году был опубликован первый том книги советского психолога П. Якобсона «Процесс творческой работы изобретателя». Критически рассмотрев выводы Росмана, П. Якобсон предложил свою схему творческого процесса. По этой схеме работа над изобретением также состоит из семи стадий:

1. Период интеллектуально-творческой готовности.
2. Усмотрение потребности.
3. Зарождение идеи-задачи.
4. Поиски решения.
5. Получение принципа изобретения.
6. Превращение принципа в схему.
7. Техническое оформление и развертывание изобретения.

Как легко заметить, эта схема во многом похожа на предложенную Росманом. Но в книге П. Якобсона отчетливее выражена мысль о необходимости вскрыть законы технического творчества и создать научно обоснованную методику решения изобретательских задач. Предполагалось, что во втором томе П. Якобсон изложит суть этой методики. Однако второй том так и не был написан, хотя П. Якобсон продолжал в дальнейшем публиковать другие работы в области психологии.

К середине тридцатых годов на полках патентных библиотек скопились описания миллионов изобретений. Изобретательство в нашей стране приобретало все более массовый характер. Становилось очевидным: нужна научная методология творчества. Однако в силу целого ря-

да причин и неблагоприятных обстоятельств в течение последующих двадцати лет новые работы по технологии изобретательства почти не публиковались. А старые теории, расплывчатые и практически неработоспособные, уже не годились. Тем более они непригодны теперь, в период бурного развития научно-технической революции, когда, как сказано в отчетном докладе Центрального Комитета КПСС XXIV съезду партии, «наиболее слабыми являются звенья, связанные с практической реализацией достижений науки, с их внедрением в массовое производство». А ведь достижения науки входят в производство именно через изобретения.

* * *

В 1944 году американский математик Д. Пойа писал об эвристике: «...так называлась не совсем четко очерченная область исследования, относимая то к логике, то к философии, то к психологии. Она часто охарактеризовывалась в общих чертах, редко излагалась детально и, по существу, предана забвению в настоящее время»¹.

История эвристики вообще состоит из недолгих приливов, разделенных куда более продолжительными отливами. Каждый прилив обогащал эвристику новыми надеждами и новой терминологией. Однако вскоре оказывалось, что надежды не спешат оправдываться, а за новыми терминами стоят старые и крайне расплывчатые идеи. Тогда начинался отлив.

Возникновение кибернетики на первых порах усилило очередной отлив эвристики. В электронной вычислительной технике господствовал принцип последовательного перебора вариантов. Популярная и внешне убедительная аналогия между работой вычислительной машины и работой мозга укрепила мнение, что изобретательские задачи должны обязательно решаться путем «проб и ошибок».

Электронные вычислительные машины совершенствовались, и к концу 50-х годов стало ясно, что сплошной перебор вариантов — даже при колоссальном быстродействии — не годится для решения творческих задач. Пришлось вспомнить об эвристике. Возникла идея эвристи-

¹ Д. Пойа. Как решать задачу. М., Учпедгиз, 1961, стр. 200.

ческого программирования: пусть машины не перебирают подряд все варианты, а по определенным правилам отбирают относительно небольшое количество вариантов, достаточное для решения.

В 1957 году американские исследователи А. Ньюэлл, Дж. Шоу и Г. Саймон опубликовали эвристическую программу под названием «Общий решатель проблем». Терминология была новая, с кибернетическим акцентом, а идея старая: создать универсальные правила решения творческих задач. Однако «решатель проблем» оказался весьма специализированным: он был пригоден в основном для доказательства теорем математической логики. А. Ньюэлл попытался использовать «Общий решатель» для игры в шахматы — ничего не получилось. Об изобретательских задачах и говорить не приходится: они заведомо были не под силу «Общему решателю».

Впоследствии А. Ньюэлл, Дж. Шоу и Г. Саймон создали специальную шахматную программу. Но при этом пришлось отказаться от традиционных для эвристики поисков универсальных правил. Исследователи обратились к изучению объективных закономерностей шахматной игры. Имеется хорошо разработанная шахматная теория — она и была положена в основу программы.

Казалось бы, найден верный путь: создавая эвристические программы, надо основываться на объективных закономерностях, действующих в данной области. Однако современная эвристика без особого энтузиазма осваивается с этой мыслью. Дело в том, что в шахматах была готовая теория, были учебники с правилами, обобщениями, советами, были многочисленные анализы сыгранных партий. Не будь всего этого, пришлось бы проделать в тысячи раз более сложную работу: сначала создать теорию, а уж потом, опираясь на эту теорию, разработать эвристическую программу игры. Именно поэтому сегодняшняя эвристика ничего не может предложить изобретателям.

* * *

Разделяя творческий процесс на отдельные стадии, Росман и другие исследователи не учитывали, что каждая стадия может проходить на качественно отличающихся уровнях.

Это типично для исследований, посвященных изобре-

тательскому творчеству. Изобретения рассматриваются «вообще», хотя на самом деле они представляют собой множество весьма отличающихся друг от друга объектов.

Сравним два конкретных изобретения:

Авторское свидетельство

№ 166584

Приспособление для открывания бутылок, выполненное в виде укрепленного на рукоятке захвата, отличающееся тем, что с целью открывания бутылок, укупоренных полиэтиленовыми пробками, захват выполнен в виде скобы подковообразной формы с загнутым внутрь ее по всему периметру бортиком с фаской.

Авторское свидетельство

№ 123209

Способ усиления электромагнитных излучений (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного и радиодиапазонов волн), отличающийся тем, что усиливаемое излучение пропускают через среду, в которой с помощью вспомогательного излучения или другим путем создают избыточную, по сравнению с равновесной, концентрацию атомов, других частиц или их систем на верхних энергетических уровнях, соответствующих возбужденным состояниям.

Безусловно, в обоих случаях творческий процесс должен проходить через одни и те же стадии (в каждом деле есть начало, середина и конец). Но существует очевидная качественная разница между «усмотрением потребности» в механизации извлечения полиэтиленовых пробок и «усмотрением потребности» в создании индуцированного излучателя (лазера). Столь же очевидная качественная разница должна быть и в механизме «рождения новой идеи» в двух этих изобретениях.

Я опросил подряд 29 человек в возрасте от 12 до 46 лет — все они за 2—5 минут находили идею механизма для открывания пластмассовых пробок. Привожу запись решения задачи моим сыном (12 лет):

«Экспериментатор. Нужно придумать открывалку для пластмассовых пробок. Штопор не годится. Острая шту-

ковина, которой открывают металлические пробки, тоже не годится. Для пластмассовых пробок нужна какая-то другая открывалка.

Испытуемый. Мама открывает ножом.

Экспериментатор. Ножом неудобно. Нужна специальная открывалка.

Испытуемый. Можно ножницами.

Экспериментатор. А почему ножницами лучше?

Испытуемый. Ну, нож захватывает пробку только с одной стороны, а ножницы — с двух сторон.

Экспериментатор. А как сделать еще лучше?

Испытуемый (с энтузиазмом). Надо захватить с трех сторон! (Примечание: это и есть «скоба подковообразной формы» по авторскому свидетельству № 166584.)

Экспериментатор. Но все-таки нужна специальная открывалка.

Испытуемый. Ну такое лезвие, чтобы хватало пробку с трех сторон (показывает пальцами). А сверху прицепить ручку».

Чтобы разобраться в технологии изобретательского творчества, необходимо рассмотреть изобретательскую деятельность с учетом **многообразия уровней** на каждом этапе творческого процесса.

Этим мы и займемся.

На стр. 32 приведена структурная схема творческого процесса. Этапы обозначены на ней буквами (А, Б, В, Г, Д, Е), уровни — цифрами (1, 2, 3, 4, 5). Каждая стадия может быть пройдена на одном из пяти уровней.

В дальнейшем мы детальнее рассмотрим, чем отличаются уровни. А пока с некоторым приближением можно считать характерным:

для первого уровня: **использование готового объекта** без выбора или почти без выбора;

для второго уровня: **выбор** одного объекта из нескольких;

для третьего уровня: **частичное изменение** выбранного объекта;

для четвертого уровня: **создание нового объекта** (или полное изменение исходного);

для пятого уровня: **создание нового комплекса объектов.**

Приведем несколько конкретных примеров изобретений разного уровня.

ПРОЦЕСС ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКОГО ТВОРЧЕСТВА

Структурная схема

Уровень	А	Б	В	Г	Д	Е
5-й	Найдена новая проблема	Найден новый метод	Получены новые данные, относящиеся к проблеме	Найден новый принцип	Созданы новые конструктивные принципы	Изменена вся система, в которую вошла новая конструкция
4-й	Найдена новая задача	Найдена новая поисковая концепция	Получены новые данные, относящиеся к задаче	Найдено новое решение	Создана новая конструкция	Конструкция применена по-новому
3-й	Изменена исходная задача	Поисковая концепция изменена применительно к условиям задачи	Собранная информация изменена применительно к условиям задачи	Изменено известное решение	Изменена исходная конструкция	Внедрена новая конструкция
2-й	Выбрана одна из нескольких задач	Выбрана одна поисковая концепция из нескольких	Собраны сведения из нескольких источников	Выбрано одно решение из нескольких	Выбрана одна из нескольких конструкций	Внедрена модификация готовой конструкции
1-й	Использована готовая задача	Использована готовая поисковая концепция	Использованы имеющиеся сведения	Использовано готовое решение	Использована готовая конструкция	Внедрена готовая конструкция
	Выбор задачи	Выбор поисковой концепции	Сбор информации	Поиск решения	Развитие идеи в конструкцию	Внедрение

Первый уровень

Авторское свидетельство № 157356: «Защитный колпак к баллонам для сжатых, сжиженных и растворимых газов, отличающийся тем, что, с целью значительного снижения стоимости и экономии металла, колпак выполнен из пластмассы и снабжен ребрами жесткости на внутренней поверхности».

Взята готовая задача (призыв к экономии металла содержится в любом темнике). Использованы готовая поисковая концепция (надо заменить металл чем-нибудь подешевле) и готовое решение (выполнить колпак из пластмассы). Никакой специальной информации собирать не пришлось (пластмассовые колпаки широко применяются в термосах). Конструкция тоже готовая (ребра жесткости на внутренней поверхности колпака) и потому не требующая доводки при внедрении.

Авторское свидетельство № 262335: «Сифон для перекачивания жидкого металла, включающий Л-образную трубу с газопроницаемой керамической пробкой и штуцером для соединения с вакуум-насосом, всасывающий конец которой выполнен в виде горизонтального патрубка, отличающийся тем, что, с целью повышения чистоты перекачиваемого металла путем установки сифона над уровнем осадка в емкости, всасывающий конец сифона снабжен упором».

Чтобы трубка не опускалась на дно, приделана подставка: тривиальная задача и тривиальное решение¹.

Второй уровень

Авторское свидетельство № 210662: «Индукционный электромагнитный насос, содержащий корпус, индуктор и канал, отличающийся тем, что, с целью упрощения запуска насоса, индуктор выполнен скользящим вдоль оси канала насоса».

Электромагнитный насос известен давно — это тру-

¹ Подчеркиваю: я вовсе не хочу сказать, что на изобретения первого уровня не надо выдавать авторские свидетельства. Юридическая защита таких небольших конструктивных новшеств имеет, вероятно, смысл. Речь идет о другом: с точки зрения психологии творчества в изобретениях первого уровня нет творческого процесса.

ба и индуктор (электромагнит), выполненный в виде кольца, охватывающего трубу. В рабочем положении конец трубы опущен в металл, а индуктор находится выше уровня металла. Но для запуска насоса нужно сначала втянуть металл до уровня индуктора, и тут возможны различные решения: поставить в нижней части вспомогательный (пусковой) индуктор; перед началом работы заливать металл сверху; опускать трубу с индуктором вниз и т. д. Выбрано одно решение (вероятно, лучшее): опускать в начале работы индуктор (не опуская самой трубы), «захватывать» металл и поднимать его вверх, до уровня, соответствующего рабочему положению индуктора.

Это изобретение второго уровня: стадия Г пройдена на втором уровне.

Третий уровень

Авторское свидетельство № 163487: «Способ перекрытия светового пучка с использованием взрывного затвора, например при скоростной киносъемке, отличающийся тем, что, с целью многократного использования одного и того же прерывателя светового пучка, взрывили искровой разряд производят в жидкости, помещенной между двумя защитными стеклами так, чтобы ее свободная поверхность в спокойном состоянии касалась светового канала оптической системы».

Известный способ взрывного перекрытия светового пучка состоит в разрушении стекла. Понятно, что при этом прерыватель может быть использован только один раз. Изменение агрегатного состояния прерывателя обеспечивает появление нового качества: жидкостный прерыватель может быть использован многократно. Стадии Г и Д пройдены на третьем уровне.

Среди изобретений третьего уровня много таких, в которых новый эффект достигается изменением агрегатного состояния.

Авторское свидетельство № 256956: «Способ удаления внутренностей у рыбы, отличающийся тем, что, с целью повышения качества зачистки брюшной полости, внутренность намораживают на охлаждаемый элемент, имеющий температуру от -5 до -50°C ».

Четвертый уровень

Авторское свидетельство № 163559: «Способ контроля породоразрушающего инструмента, например буровых долот, отличающийся тем, что, с целью упрощения контроля, в качестве сигнализатора износа применяют монтируемые в тело долота ампулы с резко пахнущими химическими веществами, например с этилмеркаптаном».

Это изобретение четвертого уровня: здесь предлагается новый («запаховый») способ контроля, а не совершенствуется старый.

Авторское свидетельство № 187135: «Система испарительного охлаждения электрических машин, отличающаяся тем, что, с целью исключения необходимости подвода охлаждающего агента к машине, активные части и отдельные конструктивные элементы ее выполнены из пористых порошковых сталеи, пропитанных жидким охлаждающим агентом, который при работе машин испаряется и таким образом обеспечивает кратковременное интенсивное и равномерное ее охлаждение».

Обычные системы охлаждения действовали *извне* — и потому были громоздкими и неэффективными. В авторском свидетельстве № 187135 впервые предложено заранее запастись хладагент *внутри* металла.

Пятый уровень

Авторское свидетельство № 70000: «Способ получения порошков металлов, сплавов и других токопроводящих материалов, отличающийся тем, что, с целью использования при замыкании цепи электродинамических сил для вырывания из электродов порций диспергируемого материала и выбрасывания их в окружающую среду, подлежащие диспергированию материалы включены в качестве электродов в цепь электрического колебательного (разрядного) контура, который настроен так, что он работает в области искрового разряда (в области нестационарного электрического разряда)».

С этого изобретения началась вся история электроискровой обработки материалов.

Конечно, стадии и уровни могут быть детализированы. Однако качественные отличия между уровнями намного важнее количественных отличий в пределах одного уровня.

Поясним это аналогией. Невозможно изучать вещество, например воду, «вообще». Существуют качественно отличные «уровни» воды — лед, жидкая вода, пар. Это вещества с разными свойствами, они (вещества) подчиняются разным закономерностям. Конечно, существуют отличия и в пределах одного уровня: вода при 4° отличается от воды при 99°, а пар при температуре закритической отличается от пара с докритической температурой. Но при структурном анализе (во всяком случае, на его первом этапе) внутриуровневые отличия не играют существенной роли.

Вероятно, у читателя уже возник вопрос: а каково соотношение между количествами изобретений первого и, например, пятого уровней?

Я проанализировал изобретения по 14 классам за 1965 и 1969 годы. Анализ дал следующее соотношение (%):

1-й уровень	32
2-й уровень	45
3-й уровень	19
4-й уровень	Менее 4
5-й уровень	Менее 0,3

Следовательно, 77% зарегистрированных (признанных) изобретений фактически представляют лишь новые конструкции. В принципе каждый инженер должен уметь делать изобретения на двух первых уровнях. В этом диапазоне не приходится иметь дело с выработкой новых задач, новых технических идей и т. д., для успешной работы достаточны те знания и навыки, которыми обязан обладать каждый современный инженер. С другой стороны, высшие подуровни пятого уровня связаны с использованием новых открытий. Для современного изобретательского творчества типичен¹, таким образом, диапазон третьего уровня до середины пятого уровня. Количественно это менее 1/4 регистрируемых изобретений. Но именно эти изобретения обеспечивают **качественное** изменение техники.

¹ В творческом, а не в юридическом (патентном) понимании.

Разницу между уровнями (на стадии Г) можно охарактеризовать так: на первом уровне число проб и ошибок, необходимых среднему инженеру для отыскания решения, измеряется **единицами**, на втором уровне — **десятками**, на третьем — **сотнями**, на четвертом — **тысячами** и **десятками тысяч**, на пятом — **сотнями тысяч**, **миллионами**. На верхних ступенях пятого уровня пробы можно продолжать до бесконечности, поскольку среди «спрятанных» решений еще нет нужных (нет открытий, которые позволили бы решить данную изобретательскую задачу).

Психологи довольно точно разобрались в механизме мышления на первом и втором уровнях (поскольку этот механизм не отличается от **четворческого** мышления). идет перебор вариантов, негодные варианты отбрасываются, каждый отброшенный вариант проясняет задачу, перестраивая ее условия.

Трудности для традиционной психологии возникают при раскрытии механизма творчества на более высоких уровнях. Теоретически число подлежащих перебору вариантов очень велико, но не вызывает никаких сомнений, что изобретатель не перебирает их все подряд, а каким-то образом сужает число проб и ошибок: из 100 000 возможных проб изобретатель эвристически выделяет «участок», скажем, со 100 пробами. Решающее значение имеет механизм этого выделения, дальше действует обычный перебор.

Вся эвристика (в значительной мере и психология творческого мышления) построена на надежде выявить механизм перехода от 100 000 вариантов к 100. Эксперименты в этом направлении столь же стары, как и сама эвристика. И столь же безрезультатны.

Ошибочно исходное положение. Никаких эвристических механизмов перехода от «большого поискового поля» (сотни тысяч попыток) к «малому, но нужному участку» (сотни попыток) не существует. Хотя задачу, требующую 100 000 проб, изобретатель действительно решает всего 100 пробами.

Кажущееся противоречие объясняется тем, что психологи рассматривают действия одного человека, а задачи высших уровней решаются последовательными усилиями многих людей.

Представим себе, что клад спрятан в поле площадью 100 000 м². В течение нескольких поколений последовательно на поле работали 1000 человек. Каждый вел раскопки на участке в 200 м² (участки часто перекрывают друг друга). Постепенно выяснились области, где бесполезно копать, но все равно там копали... Наконец появляется 1001-й искатель. Он уже знает, где заведомо не надо копать — за полвека это выяснили его предшественники. Он выбирает некопанный участок — и находит клад. Тут появляется психолог: «Скажите, как вам удалось найти клад с такого небольшого числа попыток?» А ведь все просто: остальные участки были раскопаны, полувековая работа сузила громадное поисковое поле до скромного участка.

В качестве конкретного примера рассмотрим изобретение компактного вариатора.

Вариатор — бесступенчатая коробка передач. Возможность плавного регулирования числа оборотов исключительно важна для машиностроения и ряда других отраслей техники. Поиски наилучшего вариатора ведутся во многих странах с начала XX столетия.

С 1945 года над этой проблемой работал изобретатель Е. И. Пирожков под руководством доктора технических наук Г. Г. Баранова. Ранее Е. И. Пирожков изобрел небольшой **гидравлический** вариатор (а. с. № 70842). Таким образом, налицо идеальные условия: действует человек, уже имеющий изобретательский опыт, а за его действиями следит известный ученый.

Как же протекала работа?

Вот ее описание, взятое из журнала «Изобретатель и рационализатор» (№ 7, 1969 г.):

«Было выполнено несколько серьезных научно-исследовательских работ. Изучено колоссальное количество отечественной и зарубежной литературы. По «косточкам» разобраны конструкции практически всех вариаторов и выявлены сильные и слабые стороны каждого. Это был титанический, не прекращающийся ни на один день труд. Несмотря на успех своего изобретения, Пирожков понял, что гидравлические передачи так же, как и пневматические и электрические, страдают одним существенным недостатком, исправить который нельзя...

...Среди специалистов мало кто обращал внимание на фрикционные передачи. Многих отпугивали их бю-

щие в глаза недостатки. Например, вариаторы, работающие всухую, очень ненадежны... фрикционные тела проскальзывают... приходится очень сильно сжимать контактирующие пары. Силы, возникающие при этом (до нескольких десятков тонн!), быстро разрушают валы и подшипники.

Интересно также, что в свое время считалось, будто колеса паровоза и рельсы надо делать зубчатыми. Иначе локомотив не сдвинется с места. Очевидно, с тех пор и осталось предубеждение против фрикционных передач. А ведь у них есть прекрасные качества...

...Пирожков оценил это. Если избавиться от недостатков или хотя бы свести их к минимуму, то фрикционным передачам не будет равных.

Это оказалось возможным благодаря простой, но чрезвычайно остроумной идее: если силы, действующие на сателлит, перераспределить так, чтобы они образовали замкнутый многоугольник, то их сумма будет равна нулю. Тогда промежуточное тело будет находиться в равновесии, а вал и подшипники разгрузятся. Вся сложность заключается в том, что в любом вариаторе одна из сил меняет свое положение. Значит, надо найти такую, далеко не всякую и одновременно простую форму промежуточного тела, которая позволила бы уравновесить сателлит. Выяснилось, что приемлемая форма его — сочетание двух усеченных конусов.

...Решение это пришло неожиданно.

Пирожков уехал в командировку, вырвавшись из тучки преподавательских работ, отчетов, докладов. И в поезде мелькнула вдруг та редкая и счастливая мысль, которую, по выражению Эйнштейна, не надо даже записывать. Схема нового вариатора стояла перед глазами. Это было в 1952 году. Прошло семь лет напряженного труда с тех пор, как Пирожков впервые столкнулся с проблемами вариаторостроения...»

Проанализируем теперь ход этой семилетней работы.

Существовало обширное поисковое поле, на котором уже полвека работали тысячи людей. Изобретатель начал с участка, который был связан с его личным опытом: попытался усовершенствовать гидравлические вариаторы. Попытки оказались безуспешными, и участок поисков начал дрейфовать по поисковому полю. Одновременно собиралась информация о поис-

ковых участках других изобретателей. Это чрезвычайно важная особенность реального изобретательского творчества, которая полностью пропадает при психологическом моделировании творческих процессов. Психолог, следи он за Е. И. Пирожковым, зарегистрировал бы его личные пробы и не учел бы пробы других изобретателей. Между тем дрейф поискового участка, в пределах которого вел пробы Е. И. Пирожков, корректировался информацией с других участков. Займись изобретатель этой задачей лет на 30—40 раньше, информации с других участков не было бы, вся картина поисков выглядела бы совершенно иначе.

В оценке подобных ситуаций сейчас все поставлено с ног на голову. Если изобретатель решил задачу, которую не смогли решить тысячи его предшественников за столетия, говорят: тут должны быть выдающиеся изобретательские способности. И не учитывают, что решить задачу без предшественников-намного труднее; увеличивается степень неопределенности и, следовательно, количество требуемых попыток. Как ни парадоксально, но решить задачу тем легче, чем большее количество людей безуспешно пыталось сделать это раньше. Ибо каждая неудачная попытка — это дополнительная информация, позволяющая лучше понять задачу и сузить поле поисков.

Перелом в работе Е. И. Пирожкова наступил тогда, когда изобретатель существенно перестроил задачу. Основываясь на своих пробах и на информации о чужих пробах, он отказался от попыток усовершенствовать наиболее популярные прототипы и обратил внимание на «золушку» — фрикционную передачу. Поисковый участок был перемещен в самый дальний, заброшенный угол поля. Осуществился переход с поля в сто тысяч попыток «на уголок» в сто попыток, и отыскание решения стало неизбежным.

Сама идея подвижного многоугольника сил известна, например, в текстильном машиностроении, там она широко использована. Но эту идею нетрудно было открыть вновь, если бы участок поисков с самого начала был ограничен только фрикционными передачами.

Итак, целесообразная тактика (искомая эвристика!) должна была состоять в том, чтобы найти «золушку» и узнать, как расколдовывают «золушек» в соседних цар-

ствах-государствах (других отраслях техники). Но мы видим, насколько далека картина реального изобретательского творчества от эвристически направленного процесса

* * *

Сделаем небольшое отступление.

При анкетных опросах выяснилось, что некоторые изобретатели не хотят знакомиться с патентной литературой до решения задачи. Мотивировка: патентная информация подталкивает к тривиальным решениям, скопывает воображение.

Попробуем разобраться в этих утверждениях.

Если нужно улучшить имеющийся объект, т. е. сделать изобретение второго-третьего уровня, мы всегда можем найти в патентной литературе разделы, подлежащие изучению. В этом случае патентная информация обязательно должна быть использована до решения задачи.

Если же нужно изобрести нечто принципиально новое, т. е. сделать изобретение четвертого-пятого уровня, условия задачи расширяются настолько, что нельзя определенно ответить на вопрос: какую именно патентную информацию следует смотреть?

Обратимся к конкретной задаче.

Существующий способ измерения глубины на середине реки состоит в том, что человек подплывает к нужному месту, например, на лодке, а затем опускает шест или канат с грузом. Нужно предложить способ измерения глубины реки с **берега**. Способ должен быть простым, а устройство легким и компактным, чтобы его могли использовать геологи, туристы и другие.

Исходный объект (измерение с лодки, плота) здесь отвергнут условиями задачи. Возникает вопрос: к каким же разделам патентной литературы обратиться? Очевидно, что прототипом окажется изобретение из очень далекой области. Можно смотреть классы E 21 (глубокие скважины), F 22 (паровые котлы), G 10 (акустика), E 03 (способы и устройства для добывания, хранения и распределения воды), E 02 (гидротехнические сооружения), B 63 (водолазное дело, подъемное дело). . А может быть, взять класс F 16 (там упоминаются «поплавки»)? Или класс F 24 (снабжение горячей водой в зданиях)?

Или класс Н 01 (там имеются «электрические устройства, использующие особые физические эффекты») ?..

В сущности, прототип можно искать в любом классе. Такая ситуация типична для задач, решаемых на четвертом-пятом уровнях. Именно поэтому существующая система использования патентной информации не срабатывает при решении задач высших уровней.

* * *

Со времен Паппа эвристические приемы считаются универсальными. Исследуя творчество, психологи экспериментируют на головоломках и других простых задачах, считая механизм творчества одинаковым на всех уровнях. С таким же успехом можно пытаться постичь законы кораблестроения, экспериментируя с бумажными кораблями.

Эвристическое отыскивание решения в поисковом поле площадью в 100 000 попыток не может не отличаться от поиска на участке в 100 попыток. Тут нужны совершенно различные психологические механизмы.

Эвристические приемы низших уровней описаны, например, в книге Дж. Диксона «Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решения» (изд-во «Мир», 1969 г.). Это простые правила типа «Помни о психологической инерции», «Используй аналогию», «Поставь себя на место рассматриваемого объекта (эмпатия)» и т. д. Такие приемы вполне годятся для решения задач первого и — в определенной мере — второго уровня. Выше этого они бесполезны, а иногда даже вредны. Об этом свидетельствуют решения учебных задач на семинарах и эксперименты с анкетным решением задач.

Никакие призывы «помнить о психологической инерции» не срабатывают, если человек не знает, как именно бороться с инерцией. Тщетными остаются рекомендации использовать аналогии, когда этих аналогий слишком много. Эмпатия только запутывает дело, если объект достаточно сложен.

Эвристике на таком уровне можно было научить всех инженеров. Но практически нет особой разницы — сделано ли изобретение после 20 попыток или эвристически с двух попыток. В полную меру сила эвристики могла бы проявиться лишь на высших уровнях творчества. Но там

эвристические приемы низших уровней оказываются бес-
сильными. А высших эвристических приемов не сущест-
вует.

И это не случайно.

На протяжении всей эволюции мозг человека приспособляется к решению задач, соответствующих по сложности примерно первому уровню. Эволюция сделала свое дело: задачи этого уровня могут решаться с полной уверенностью. Даже с избыточной уверенностью. Выработанные механизмы мышления (включая эвристические приемы) годятся и на втором уровне. Но они оказываются совершенно непригодными для работы на высших творческих уровнях.

Естественный отбор способствовал появлению и закреплению механизмов, свойственных первому уровню. Если и рождался человек с эвристическими способностями высших порядков, он не имел ни малейших преимуществ. Скорее наоборот.

Природа не выработала эвристических приемов высшего порядка хотя бы из-за длительности каждого цикла. Сделав в течение жизни одно-два изобретения четвертого уровня, человек просто не успевает накопить «высший» эвристический опыт.

Эволюция пошла испытанным путем: создана надежная система из ненадежных элементов. Нет одного изобретателя «мощностью» в 100 000 попыток¹. Но изобретения, требующие такого числа попыток, тем не менее делаются. Поле в 100 000 попыток с избытком перекрывается тысячей участков по 300 попыток.

Поэтому эвристические приемы, которые, казалось бы, должны играть решающую роль на высших уровнях, фактически проявляются лишь в виде едва ощутимых проблесков при решении немногих изобретательских задач на низших уровнях. Два анкетных опроса, четверть века личного наблюдения за изобретателями (в том числе на учебных семинарах), анализ анкетных решений изобретательских задач, наконец, собственный опыт дают мне основание со всей категоричностью констатировать: изобретения на высших уровнях делаются без высших эв-

¹ Эдисон находил решения задач четвертого уровня путем огромного числа попыток. Но Эдисон работал не в одиночку: пробы вел многочисленный коллектив его сотрудников.

ристических приемов — теми же методами, которыми делаются изобретения низших уровней.

Драма изобретательства состоит в том, что на высших уровнях приходится работать методами, соответствующими низшим уровням.

* * *

Количественно задачи разных уровней отличаются числом проб и ошибок, необходимых для отыскания решения. Но почему одна задача требует 100 проб, а другая в 1000 раз больше? В чем **качественная** разница между ними?

Сравнительный анализ задач позволяет ответить на этот вопрос.

На первом уровне задача и средства ее решения лежат в пределах одной профессии (одного раздела отрасли). На втором уровне — в пределах одной отрасли (машиностроительная задача решается способом, уже известным в машиностроении, но в другой его области). На третьем уровне — в пределах одной науки (механическая задача решается механически). На четвертом уровне — за пределами науки «задача чедательницы» (например, механическая задача решается химически). На высших подуровнях пятого уровня — вообще за пределами современной науки (поэтому сначала нужно сделать открытие, а потом, опираясь на новые научные данные, решать изобретательскую задачу).

Когда задача возникает, ее пытаются решить сначала на первом уровне, затем на втором и т. д. Изобретатель, приступающий к решению задачи четвертого уровня, с точки зрения психологов, начинает с первой попытки. На самом деле он начинает с n -й попытки, причем n — весьма большое число.

При решении задачи первого уровня человек прежде всего использует «житейское знание». Как показали опыты Л. Секея¹, именно это мешает понять задачу сразу: Но разница между «житейским знанием» и подходом, требуемым **на первом уровне**, очень невелика. Поэтому достаточно нескольких попыток, чтобы осмыслить задачу.

¹ Л. Секей. Знание и мышление. Сб. «Психология мышления». М., «Прогресс», 1965, стр. 355.

Идеальная тактика решения на первом уровне практически совпадает с реальной тактикой. На четвертом уровне такого совпадения нет.

Когда наш далекий предок встречал льва, возникала примерно такая задача: «Позади высокое дерево. Чуть дальше — скалы. И еще озеро, оно совсем рядом. Куда бежать?» Ход решения: «Хорошо бы в озеро, но, кто знает, — вдруг лев может плавать... Дерево? Не успею забраться. По опыту знаю, на такую процедуру нужно время — и чтобы кто-нибудь посадил. Остаются скалы... Ну, нажмем!»

Задачи такого уровня сложности решались из поколения в поколение и продолжают решаться сегодня каждым из нас в **повседневной жизни**. Эволюция выработала механизмы мышления, соответствующие таким задачам.

Изобретательская задача четвертого уровня значительно сложнее повседневных ситуаций. Если обратимся к нашей модели со львом, то сложная изобретательская задача выглядит так: «Вокруг — 500 хищников. Не все они львы. Некоторые временами превращаются в змей, некоторые — в воробьев, а некоторые — непонятно в кого. Бежать к озерам? Но их сто штук и на пути к каждому множество разных препятствий. Да и сами озера ведут себя сложно: иногда мелеют, иногда движутся. К тому же динамичные хищники, вероятно, могут превращаться в крокодилов — что им озеро.. Деревья? Но они меняют высоту прямо на глазах — то становятся карликовыми, то превращаются в баобабы. А тут еще что-то такое летает в воздухе. То ли орлы, то ли скворцы. И неизвестно, что за этим холмом, и что за другими холмами, и что вон за тем кустарником... Трудное положение! Правда, спешить некуда: я могу разбираться в этой ситуации хоть пять лет...»

* * *

Теперь мы можем четко сформулировать отличие между задачами первого и четвертого уровней.

Для изобретательской задачи первого уровня (а также для повседневных житейских задач и экспериментальных психологических задач) характерно:

1. Небольшое число элементов в задаче.
2. Неизвестных элементов нет (редко один-два неизвестных элемента).

3. Легкость анализа: элементы, которые могут быть изменены, легко отделяются от элементов, не поддающихся изменению в условиях данной задачи. Легко прослеживается взаимное влияние элементов.

4. На решение дается короткое время.

Изобретательская задача четвертого уровня отличается:

1. Большим числом элементов.

2. Значительным числом неизвестных элементов.

3. Трудностью анализа: сложно отделить известные элементы от неизвестных; практически невозможно построить полную модель, учитывающую взаимодействие элементов.

4. На решение дается достаточно большое время.

* * *

В процессе эволюции наш мозг научился находить приближенные решения простых задач. Но эволюция не выработала механизмов для медленного и точного решения сложных задач.

Если бы мы с величайшей точностью знали все, что происходит в голове хорошего изобретателя, это не приблизило бы нас к созданию тактики, соответствующей четвертому уровню. Мы бы просто обнаружили, что при решении задачи четвертого уровня изобретатель применяет ту же тактику, что и на первом уровне.

Эвристические механизмы высших порядков не могут быть открыты — их нет. Но они могут и должны быть созданы.

ИЗОБРЕСТИ СПОСОБ ИЗОБРЕТАТЬ

В 1953 году американский психолог А. Осборн предпринял попытку усовершенствовать метод «проб и ошибок». Пытаясь решить задачу этим методом, изобретатель выдвигает какую-то идею («А если сделать так?»), а затем проверяет, годится она или нет. Есть люди, которые по складу ума хорошо «генерируют» идеи, но плохо справляются с их анализом. И наоборот: некоторые люди больше склонны к критическому анализу идей, чем к их «генерации». Осборн решил разделить эти процессы. Пусть одна группа, получив задачу, только выдвигает идеи, хотя бы и самые фантастические. Другая группа пусть только анализирует выдвинутые идеи.

Мозговой штурм (брейнсторминг) — так назвал Осборн свой метод — не устраняет беспорядочных поисков. В сущности, он делает их даже более беспорядочными. Как мы видели, «пробы» долгое время идут в направлении «вектора инерции»: они не просто беспорядочны, они преимущественно направлены не в ту сторону. Поэтому переход к «простой беспорядочности» — уже какой-то прогресс.

Основные правила мозгового штурма несложны:

1. В группу «генераторов» идей должны входить люди различных специальностей.

2. «Генерирование» идей ведут, свободно высказывая любые идеи, в том числе явно ошибочные, шутливые, фантастические. Регламент — минута. Идеи высказываются без доказательств. Все идеи записываются в протокол или фиксируются магнитофоном.

3. При «генерировании» идей запрещена всякая критика (не только словесная, но и молчаливая — в виде скептических улыбок и т. п.). В ходе штурма между его участниками должны быть установлены свободные и доброжелательные отношения. Желательно, чтобы идея, вы-

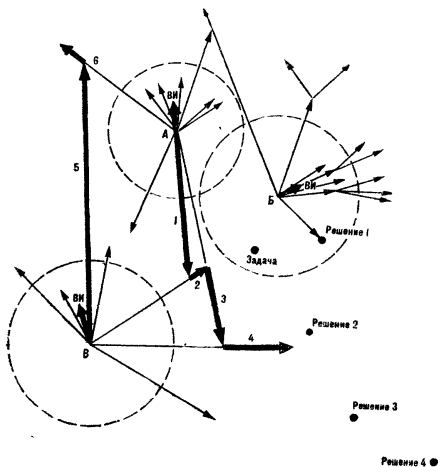


Рис 3 Американский психолог А. Ф. Осборн усовершенствовал метод «проб и ошибок», предложив «мозговой штурм»

двинутая одним участником штурма, подхватывалась и развивалась другими.

4. При экспертизе следует внимательно продумывать все идеи, даже те, которые кажутся явно ошибочными или несерьезными.

Обычно группа «генерации» идей состоит из шести—десяти человек. Продолжительность штурма невелика: 20—40 минут.

На рис. 3 показана схема штурма (для трех участников — А, Б, В). Специальности у штурмующих разные (условно это показано тремя разными окружностями), поэтому пробы не так привязаны к вектору инерции ВИ,

как обычно. К тому же правила штурма стимулируют «генерирование» смелых и даже фантастических идей: штурмующие выходят за пределы узкой специальности — а именно там, за этими пределами, и лежат решения высших уровней.

На схеме отражен еще один важный механизм штурма — взаимодействие и развитие идей. Участник штурма А высказал идею 1, ее тут же видоизменил В — возникла идея 2. Теперь А иначе видит свою идею, это позволяет продолжить ее развитие (стрелка 3). Образуется цепь идей 1—2—3—4, направленная к решению второго уровня. Правда, механизм подхватывания идей иногда столь же последовательно (цепь 5—6) ведет и в сторону от решения...

В уже упоминавшейся книге Дж. Диксона «Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений» приведены протоколы нескольких мозговых штурмов. Вот отрывок из одного протокола, зафиксировавшего решение задачи о том, как при сортировке отделить зеленые (незрелые) помидоры от созревших.

«ТОМ: Мы сортируем их по цвету. В данном случае, вероятно, нужно применять индикатор цвета.

ЭД: Излучательная или отражательная способность. Зеленый помидор должен иметь большую отражательную способность.

ДЕЙВ: Твердость. Мы надавливаем на них слегка или притрагиваемся к ним.

ДИК: Электропроводность.

ТОМ: Сопротивление электрическому току.

ДЕЙВ: Магнетизм!

ДИК: Размер. Разве зеленые помидоры не меньше по размеру?

ЭД: Вес. Созревшие помидоры будут тяжелее.

ТОМ: Размер и вес должны быть связаны друг с другом.

ДЕЙВ: Размер и вес дают плотность.

ЭД: Удельный объем.

ТОМ: В зрелых помидорах очень много воды, потому они имеют удельный объем воды.

ДЕЙВ: Они плавают или тонут?

ДИК: Может быть, сортировать их по плотности — в зависимости от того, плавают они в воде или тонут?

ЭД: Не обязательно в воде, может быть и в другой жидкости»¹.

Известны различные разновидности мозгового штурма: обратный штурм (ишуг недостатка машины или процесса; выявление недостатков позволяет поставить новые изобретательские задачи), индивидуальный, парный, массовый, двухстадийный (два этапа по полтора часа, в перерыве ведется свободное обсуждение проблемы), поэтапный (последовательно штурмуются постановка задачи, решение, развитие идеи в конструкцию, проблема внедрения).

За последние годы мозговой штурм использовался для решения проектных, конструкторских и различного рода практических проблем. Этот успех объясняется не столько достоинствами метода мозгового штурма, сколько недостатками традиционного метода «проб и ошибок». Если начальная температура -100° , то и переход к -50° — уже оттепель.

«Бестолковость» поисков, возведенная мозговым штурмом в принцип, компенсируется количественным фактором — задачу штурмуют «оравой». Внешне штурм выглядит эффектно — задача решается за один день. Но выигрыш тут в значительной мере кажущийся: 50 человек в течение одного дня затрачивают столько же работы, сколько один человек за 50 дней. А мозговой штурм всегда требует (учитывая время на предварительную подготовку) несколько сотен человеко-дней. Выигрыш достигается лишь за счет сокращения малоперспективных попыток в направлении «вектора инерции».

Мозговой штурм дает положительный эффект, например, когда надо найти новые способы рекламы, но он не дает существенных результатов, когда дело касается более сложных проблем, которые могут быть решены на изобретательском уровне: здесь его «потолок» — решения второго уровня.

Есть два пути усовершенствовать мозговой штурм: перейти к профессиональному мозговому штурму (об этом я расскажу чуть позже) и повысить эффективность самой процедуры штурма. Второй путь изучался Обще-

¹ Другие примеры читатель найдет в статье В Гильде и К Шарке «Нужны идеи» в журнале «Изобретатель и рационализатор», 1971, № 5—6.

ственной лабораторией методики изобретательства при ИС ВОИР на задачах, по которым исследователи знали ответ. При такой постановке опытов экспериментаторы находились как бы над лабиринтом, в котором блуждали испытуемые: было отчетливо видно, ведет ли тот или иной шаг к ответу или куда-то в сторону.

При этом выяснились принципиальные недостатки мозгового штурма. Мозговой штурм исключает управление мышлением — в этом его принципиальный недостаток. Штурм действительно помогает преодолевать инерцию: мысль сдвигается «с мертвой точки», разгоняется... и часто проскакивает то место, где надо остановиться. Десятки раз в ходе экспериментов наблюдалась такая картина: один участник штурма высказывает мысль, ведущую в правильном направлении, другой подхватывает эту мысль, развивает ее; до выхода на финишную прямую остается несколько шагов, но в этот момент кто-то выдвигает совершенно иную идею, цепь обрывается, и группа снова оказывается на исходных позициях.

В ходе мозгового штурма запрещена явная критика, но она почти неизбежно заменяется скрытой критикой в форме выдвижения новых предложений, пресекающих развитие других идей.

Мы проводили мозговые штурмы с запретом скрытой критики: не разрешалось обрывать развивающиеся цепи идей — требовалось доводить каждую идею до логического завершения («А если разделить корабль на две части?.. Предлагаю делить на много частей: корабль из блоков... Корабль из мелких частиц... Из порошка... Корабль из отдельных молекул, корабль-облако... Из отдельных атомов...»). При такой организации эффективность штурма повышается. Но резко возрастают и затраты времени: штурм приходится вести в течение многих дней. Это уже не мозговой штурм, а **мозговая осада**.

При мозговой осаде можно в какой-то степени управлять мышлением, но суть дела от этого не меняется: поиск по-прежнему ведется простым перебором вариантов.

* * *

Вероятно, кое-кому из изобретателей приходила на ум заманчивая идея: а нельзя ли получить — для каждой задачи — список всех возможных вариантов? Ведь имея такой список, не рискуешь что-либо упустить...

Чтобы составить полный список, нужен специальный метод. Таким методом (точнее — приближением к нему) является так называемый морфологический анализ, предложенный в 1942 году известным американским астрономом Ф. Цвикки.

На первый взгляд может показаться странным, что метод организации творческого мышления придумал астроном. На самом же деле здесь все закономерно. Астрономия первой из наук столкнулась с большими динамическими системами (звездами, галактиками) и первой ощутила необходимость в методах, позволяющих анализировать такие системы.

В начале XX века нидерландский астроном Герцшпрунг и американский астрофизик Рассел построили диаграмму «Спектр — светимость». На одной оси этой диаграммы указаны спектральные классы, а на другой — светимость звезд. Оказалось, что каждому спектральному классу звезд соответствует определенная светимость. В бесчисленное множество звезд сразу был внесен порядок — звезды разместились на диаграмме по одной линии («главная последовательность»). Более того, упорядочилось и представление о развитии звезд: с увеличением возраста меняется спектр звезды; звезда перемещается на диаграмме вдоль линии «главной последовательности».

Диаграмма Герцшпрунга — Рассела оказала огромное влияние на астрономическое мышление (как таблица Менделеева — на мышление химиков). В последующие годы она уточнялась, развивалась, были найдены новые линии для звезд-гигантов, звезд-карликов и т. д., были построены новые двухмерные и трехмерные диаграммы.

В 1939 году Ф. Цвикки, анализируя белые пятна на диаграмме «Масса — светимость», сделал выдающееся открытие — теоретически доказал существование нейтронных звезд. Три года спустя, когда Цвикки привлекли к ракетным разработкам, он перенес метод построения многомерных диаграмм в технику, назвав его морфологическим методом.

Сущность этого метода заключается в построении многомерных таблиц (морфологических ящиков), в которых осями берутся основные показатели данной совокупности объектов. Предположим, надо найти оптимальную конструкцию ранцевого устройства для передвижения

пловца-подводника. Мы можем начать перебирать различные «а если сделать так?». Например: а если использовать электромотор и аккумуляторы? Или: а если использовать энергию сжатого воздуха и турбинку? Или: а если использовать энергию сжатого воздуха, но не с турбинкой, а с плавником типа «рыбий хвост»?..

При морфологическом методе — до выбора — нужно построить многомерную таблицу, на одной оси которой надо отложить (в данном случае) вид используемой энергии (электрическая, механическая, химическая и т. д.), на другой оси — разные типы двигателей (электромоторы, турбины, ракетные двигатели различных систем), на третьей — типы возможных движителей (винт, плавник, ракета и т. д.). Такой ящик охватит почти все мыслимые комбинации.

Конечно, ящик будет тем полнее, чем больше осей в нем и чем длиннее эти оси. Так, ящик, составленный Цвикки для прогнозирования одного только типа ракетных двигателей, имел — при 11 осях — 36 864 комбинации!..

В этом, собственно, и заключается один из основных недостатков морфологического метода. При решении изобретательской задачи даже средней трудности в ящике могут оказаться сотни тысяч и миллионы вариантов.

Другой недостаток метода — отсутствие уверенности в том, что при построении ящика учтены все оси и все классы вдоль этих осей. Интуитивный поиск вариантов заменяется интуитивным же поиском осей и классов. Выигрыш в том, что мы переходим от перебора мелких (и потому легко теряющихся) единиц (вариантов) к подбору крупных единиц (оси, классы по осям). Проигрыш в том, что, упустив хотя бы одну ось, мы автоматически теряем очень большую группу вариантов. А с осями, как с вариантами, самые тривиальные лезут в глаза, а самые интересные прячутся за психологическими барьерами. И все-таки морфологический метод — большой шаг вперед по сравнению с обычным перебором вариантов.

Наиболее эффективно применение этого метода при решении конструкторских задач общего плана (проектирование новых машин, поиск новых компоновочных решений). Возьмем, для примера, проектирование снегохо-

дов. Можно построить морфологический ящик со следующими осями и классами по осям¹.

1. Двигатель:
 - внутреннего сгорания;
 - газовая турбина;
 - электрический;
 - турбореактивный;
 - парусный (для снегоходов это не лишено смысла).
2. Движитель:
 - моноколесо (кабина внутри колеса);
 - обычные колеса;
 - ребристые колеса;
 - овальные колеса;
 - квадратные колеса;
 - цилиндрические пневмокати;
 - гусеницы;
 - снежные винты;
 - лыжи и вибролыжи;
 - воздушный винт;
 - воздушная подушка;
 - ноги (шагающий движитель);
 - спиральный движитель;
 - рессорно-листовой движитель;
 - импульсно-фрикционный движитель;
 - снегометный движитель;
 - вращающиеся тарелки и еще не менее 15 комбинированных движителей.
3. Опора кабины:
 - на движитель (например, на лыжи);
 - непосредственно на снег.
4. Тип кабины:
 - открытая;
 - закрытая однокорпусная;
 - катамаран;
 - сдвоенная тандемного типа.
5. Обеспечение амортизации:
 - за счет движителя;
 - за счет специальных амортизаторов;
 - без амортизации.
6. Управление:

¹ О различных конструкциях снегоходов см. Г. Липман, Г. Тургенев. Снегоходы. М., «Знание», 1967.

- изменение направления двигателя;
- изменение направления движителя;
- снежные рули;
- воздушные рули.
- 7. Обеспечение заднего хода:
 - реверс двигателя;
 - реверс движителя;
 - без реверса (разворотом).
- 8. Торможение:
 - основным двигателем;
 - вспомогательным двигателем;
 - воздушными тормозами;
 - снежными тормозами.
- 9. Предохранение от примерзания на стоянке:
 - механическое;
 - механическое с помощью двигателя;
 - электрическое;
 - химическое;
 - тепловое;
 - без предохранения.

Мы охватили далеко не все возможные оси и не все классы по осям. Тем не менее в ящике уже более миллиона вариантов.

Морфологический метод надо признать, таким образом, как полезный вспомогательный прием.

* * *

Чтобы как-то упорядочить перебор вариантов, можно составить списки наводящих вопросов. Такой метод называется методом контрольных вопросов. Различные списки предлагались многими авторами еще в 20-е годы.

В США наибольшее распространение получил список вопросов А. Осборна. В этом списке девять групп вопросов, например: «Что можно в техническом объекте уменьшить?» или «Что можно в техническом объекте перевернуть?» Каждая группа вопросов содержит подвопросы. Например, вопрос «Что можно уменьшить?» включает подвопросы: можно ли что-нибудь уплотнить, сжать, сгустить, конденсировать или применить способ миниатюризации? укоротить? сузить? отделить? раздробить?

Один из наиболее полных и удачных списков принад-

лежит английскому изобретателю Т. Эйлоарту¹. Вот некоторые пункты этого списка: «Набросать фантастические биологические, экономические и другие аналогии. Установить варианты, зависимости, возможные связи, логические совпадения... Узнать мнение некоторых совершенно неосведомленных в данном деле людей.. В воображении залезть внутрь механизма...»

В сущности, каждый вопрос — это проба (или серия проб). Составляя списки, их авторы, естественно, отбирают из изобретательского опыта относительно сильные вопросы. Однако отбор ведется без исследования внутренней механики изобретательства. Поэтому списки указывают, что делать, и не объясняют, как это делать. Как, например, «установить варианты» или «проследить возможные связи», если их очень много? Как построить аналогию или как «в воображении залезть внутрь механизма», чтобы это действительно навело на решение задачи?

Метод контрольных вопросов помогает в какой-то мере уменьшить психологическую инерцию, и только.

* * *

Пытаясь усовершенствовать мозговой штурм, трудно обнаружить, что целесообразно было бы использовать две возможности:

1. Создать не один метод, а комплекс разных методов.

2. Организовать дело так, чтобы этот комплекс применяли группы людей, специально обученных и постепенно накапливающих опыт методического решения задач.

Из этих положений исходил американский исследователь Уильям Гордон, предложивший так называемую **синектику** и основавший в 1960 году изобретательскую фирму «Синектикс».

Слово «синектика» в переводе с греческого означает «совмещение разнородных элементов». В проспекте фирмы «Синектикс» дано такое определение «Синектические группы — группы людей различных специальностей, которые встречаются с целью попытки творческих решений проблем путем неограниченной тренировки воображения и объединения несовместимых элементов».

¹ См «Изобретатель и рационализатор», 1970, № 5.

В основу синектики положен мозговой штурм, проводимый **постоянными группами**. Такие группы, накапливая приемы, опыт, работают сильнее случайно собранных. В синектические группы обычно включают людей разных специальностей (за обучение одной группы фирма «Синектикс» берет от 20 до 200 тысяч долларов; заказчики — «Дженерал моторс», «ИБМ», «Дженерал электрик» и другие крупнейшие фирмы).

Решение задачи синектической группой начинается с ознакомления с «проблемой, как она дана» (ПКД). Затем группа, уточняя проблему, превращает ее в «проблему, как она понимается» (ПКП). Далее начинается собственно решение, основанное, как пишет Гордон, на превращении непривычного в привычное и привычного — в непривычное, т. е. на систематических попытках взглянуть на задачу с какой-то новой точки зрения и тем самым сбить психологическую инерцию. Для этого в синектике используют четыре вида аналогий.

Прямая аналогия (ПА) — рассматриваемый объект сравнивается с более или менее аналогичным объектом из другой отрасли техники или с объектом из живой природы. Например, если мы хотим усовершенствовать процесс окраски мебели, то применение ПА будет состоять в том, чтобы рассмотреть, как окрашиваются минералы, цветы, птицы и т. д. Или — как окрашивают бумагу, как «окрашивают» телеизображение.

Личная аналогия (ЛА) — ее называют также эмпатией: решающий задачу человек вживается в образ совершенствуемого объекта, пытаясь выяснить возникающие при этом чувства, ощущения. Например, в предыдущем случае можно представить себя белой вороной, которая хочет как-то окраситься.

Символическая аналогия (СА) — обобщенная, абстрактная аналогия. Например, для шлифовального круга СА будет «точная шероховатость».

Фантастическая аналогия (ФА) — в задачу вводятся какие-нибудь фантастические существа, выполняющие то, что требуется по условиям задачи. Или какие-нибудь фантастические средства (шапка-невидимка, сапоги-скороходы и т. п.).

Ход синектического заседания обязательно записывается магнитофоном, затем запись тщательно изучается с целью совершенствования тактики решения.

Синектика — наиболее сильное из того, что есть в зарубежных странах в области методики изобретательства. Но возможности синектики весьма ограничены. Синектика осталась механическим набором приемов, оторванных от изучения объективных закономерностей развития техники. Задачи второго уровня и нижних подуровней третьего уровня — таков потолок синектики.

* * *

Для эффективного решения изобретательских задач высших уровней нужна эвристическая программа, позволяющая заменить перебор вариантов целенаправленным продвижением в район решения. Иначе говоря, нужен эвристический алгоритм, способный свести, скажем, задачу четвертого уровня «ценой» в 100 000 проб к задаче первого уровня «ценой» в 10 проб.

Такой алгоритм не может быть создан на основе опыта отдельного изобретателя или даже группы изобретателей. Чтобы получить работоспособный эвристический алгоритм, нужно: выявить объективные закономерности развития технических объектов; исследовать большие массивы патентной информации; создать программу решения, в которой каждый шаг органически вытекал бы из предыдущего; постоянно отрабатывать и совершенствовать эту программу на практике.

Я начал эту работу в 1946 году. Не хотелось бы сейчас, задним числом, утверждать, что уже тогда имелось в виду получение общей методики изобретательства. Первоначальная цель была намного проще: найти приемы, помогающие в моей личной изобретательской практике. Однако к 1948 году изобретения отошли на второй план. Стало очевидным, что «изобретение способа изобретать» — проблема намного более интересная. «Обычным» изобретениям оставалась роль подопытных кроликов, на которых испытывался алгоритм решения изобретательских задач.

В следующих главах мы подробнее познакомимся с основными положениями методики изобретательства и алгоритмом решения изобретательских задач. Сейчас отмечу только, что алгоритмическая методика рассматривает процесс решения изобретательской задачи как последовательность операций по выявлению, уточнению и преодолению **технического противоречия**. Направлен-

ность мышления достигается при этом ориентировкой на **идеальный способ, идеальное устройство**. На всех этапах решения используется **системный подход**. Алгоритм включает также конкретные шаги по **устранению психологических барьеров**, имеет развитый **информационный аппарат** — данные о типовых приемах преодоления технических противоречий.

Чтобы создать практически работоспособную методику решения изобретательских задач, каждый вывод, каждая рекомендация обязательно испытывались на практике.

Первый, еще весьма беглый, очерк на эту тему был опубликован в 1956 году в далеком от техники журнале «Вопросы психологии» и не привлек внимания изобретателей. Положение изменилось только в 1959 году, когда «Комсомольская правда» рассказала о практических результатах, даваемых методикой изобретательства. Вслед за этим ее основные принципы были изложены в журнале «Изобретатель и рационализатор»¹. В течение года на страницах журнала проходила дискуссия.

Большинство участников дискуссии выразило уверенность в том, что методика «станет могучим оружием в руках тысяч новаторов техники и производства». Одобрил методику и Экспертный совет Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР.

Подводя итоги дискуссии, редакция писала: «В наше время бурного развития науки и техники, когда созидательное творчество стало делом миллионов советских людей, проблема раскрытия «секретов» изобретательского мастерства, выведения разумных правил, действенных способов работы над техническими новшествами становится все более и более насущной...»

В 1961—1965 годах был опубликован ряд работ, которые дали возможность изобретателям использовать методику при решении новых технических задач, на практике испытать и подправить рекомендуемые методы творческой работы. Одновременно продолжалось изучение накопленного изобретателями опыта. Дважды проводились анкетные опросы новаторов — в них участвовали изобретатели более чем из 180 городов нашей страны. В Мо-

¹ Г. Альтшуллер, Р. Шапиро. Изгнание шестикрылого серафима. «Изобретатель и рационализатор», 1959, № 10.

ске, Баку, Свердловске, Новосибирске, Дубне и других городах были организованы семинары по теории и практике изобретательства. Общее количество изобретений, сделанных с помощью предложенной методики, — по далеко не полным данным — превышает 3 тысячи

В 1968 году Центральный совет ВОИР создал Секцию методики технического творчества, а год спустя — Общественную лабораторию методики изобретательства. Лаборатория, объединившая усилия энтузиастов, подготовила и опубликовала учебные пособия — программы, сборники задач, тексты лекций. Была налажена подготовка преподавателей, и теперь теория и практика решения изобретательских задач преподается в общественных институтах изобретательского творчества, в молодежных, изобретательских школах, в университетах технического творчества.

С 1971 года в Баку при республиканском совете ВОИР и ЦК ЛКСМ Азербайджана работает учебный и исследовательский Общественный институт изобретательского творчества. Институт готовит изобретателей, способных решать сложные творческие задачи в различных отраслях техники. Основным учебный предмет в институте — алгоритмическая методика решения изобретательских задач. Умение пользоваться эвристическим алгоритмом вырабатывается в процессе практических занятий — сначала на учебных задачах, а затем на новых, взятых из производственной практики.

УМЕНИЕМ, А НЕ ЧИСЛОМ

Развитие техники, как и всякое развитие, происходит по законам диалектики. Поэтому теория изобретательства основывается на применении диалектической логики к творческому решению технических задач. Но для создания работоспособной методики одной логики недостаточно. Необходимо учитывать особенности «инструмента», с помощью которого работает изобретатель, а это «инструмент» весьма своеобразный — мозг человека. При правильной организации творческой работы максимально используются сильные стороны человеческого мышления, такие, как интуиция, способность воображения, но учитываются — во избежание ошибок — и слабые стороны мышления, например его инерция.

Наконец, теория изобретательства многое черпает из опыта, из практики. У квалифицированных изобретателей постепенно вырабатываются свои приемы решения технических задач. Как правило, количество этих приемов ограничено и относятся они к какой-либо одной стадии творческого процесса. Методика изобретательства обобщает критически отобранные наиболее ценные приемы.

Разумеется, для того чтобы сделать очень крупное или великое изобретение (т. е. изобретение, относящееся по нашей классификации к верхним подуровням пятого уровня), необходимы и соответствующие исторические обстоятельства, и благоприятные для творческой работы условия, и выдающиеся человеческие качества: настойчивость, огромная работоспособность, смелость, эрудиция и т. д. Методика изобретательства отнюдь не является «самоучителем» или рецептом для штамповки изобретений. Ее цель — научная организация творческого труда. А насколько нужна научная организация творчества, читатель, вероятно, уже понял по примерам, приведенным в первой главе. Но приведу еще одну из историй, о каких

часто рассказывает журнал «Изобретатель и рационализатор».

«Бился я над изобретением, придумывал, как автоматизировать спуск на воду спасательных средств. Ничего у меня не получалось.

И вот еду в трамвае, читать нечего, думаю о своих спасательных средствах. Вошла женщина, молодая, симпатичная. «Садитесь,— говорю,— пожалуйста»,— и хочу место ей уступить. А она поблагодарила, но отказалась: скоро, мол, выходить.

Сижу я и гляжу ей вслед. Действительно, выходит. Вышла, я ее глазами проводил. И вдруг заметил, как закрываются трамвайные двери. Сколько раз глядел, а тут впервые обратил внимание: цилиндр со штоками! Они очень подходят для моего изобретения.

Позже я получил авторское свидетельство».

Рассказано это для того, чтобы произнести традиционную мораль: всякое, мол, бывает. Но обратите внимание — как плохо организован поиск решения. Спасательные средства (шлюпки, например), судя по задаче, должны были как-то выдвигаться в сторону от борта корабля, а затем опускаться на воду. Цилиндр со штоками — решение, в общем, тривиальное, в пределах первого уровня. И все-таки потребовалось нагромождение случайностей (трамвай, незнакомка, взгляд на дверь), чтобы прийти к этому простому решению.

Однажды, просматривая патентные описания, я наткнулся на изобретение под названием «Водолазная галоша»¹. Я уже знал, что запаздывание изобретений — почти железный закон. Но тут был случай, изумительный по своей наглядности.

«Известные водолазные галоши,— писали изобретатели,— как правило, изготавливаются одного размера. Поэтому они для одних водолазов велики, а для других малы. Предлагаемая водолазная галоша устраняет эти недостатки за счет того, что она имеет передвижной штампованный носок с продольным пазом. Сквозь паз проходит винт-ограничитель, фиксирующий носок в соответствии с размером ступни водолаза относительно задника».

¹ См авторское свидетельство № 132499. «Бюллетень изобретений и товарных знаков», 1960, № 19.

Итак, на протяжении, по крайней мере, 100 лет свиновые галоши для водолазов делались одного размера. На протяжении 100 лет галоши были одним малы, а другим велики. Люди работали в неудобной обуви. И за 100 лет никто не сделал галош с передвижным носком!

Изобретение простейшее, тут даже не возникает вопрос: «Как решать такую задачу?» Ее способен решить и школьник. Гораздо труднее понять, почему изобретение не было сделано лет семьдесят или восемьдесят назад...

Могут сказать: галоши, в конце концов, мелочь. Но, во-первых, не такая уж мелочь; во-вторых, крупнейшие изобретения тоже запаздывают, и порой надолго. Линзы и очки были извезены за 300 лет до изобретения телескопа. 300 лет никому не приходило в голову взять одну линзу и посмотреть на нее через другую. Допустим, не было необходимости в телескопах. Но полководцы — с древнейших времен! — нуждались в подзорных трубах. И все-таки первоклассное по масштабам изобретение запаздало на 300 лет.

Почему?

Считалось, что линза дает искаженное изображение. Две последовательно расположенные линзы должны были (так подсказывал «здравый смысл») дать двойное искажение... Этот «психологический барьер» на три столетия задержал появление телескопа. Между тем едва ли можно назвать изобретение, которое оказало бы большее, чем телескоп, революционизирующее влияние на мировоззрение человека. Телескоп открыл человеку далекие звездные миры, отодвинул в бесконечность границы вселенной, подорвал основу основ религии — представление об ограниченности нашего мира. Применение телескопа дало огромный толчок развитию науки. Трудно даже представить, насколько ушла бы вперед современная цивилизация, пояись телескоп вовремя...

В одной из статей А. Эйнштейна есть такие строки: «История научных и технических открытий не так уж блещет независимостью мысли и творческим воображением. Человек непременно нуждается в каком-то внешнем стимуле, чтобы идея, давно уже выношенная и нужная, претворилась в действительность. Человек должен столкнуться с явлением, что называется, в лоб, и только тогда рождается идея». К сожалению, практика современного

изобретательства убедительно подкрепляет эту горькую истину.

Рассмотрим, например, авторское свидетельство № 162593 на автономный подводный светильник. Водолазу, чтобы избежать непроизвольного всплытия, навешивают тяжелый свинцовый груз: пусть вместо него подвешивается аккумуляторная батарея для светильника. Простая и остроумная идея. Конструируя подводные светильники, боролись за каждый грамм — ведь это дополнительный и потому ненужный вес. Но никто не обращал внимания, что в самом водолазном снаряжении есть пассивный груз.

Использование пассивного груза — этот принцип давно известен в авиационной технике. Еще в 40-х годах на самолетах С. В. Ильюшина броня «по совместительству» выполняла функции конструктивных элементов — шпангоутов, лонжеронов и т. п.

Подавляющее большинство изобретений основано на принципах, которые в том или ином виде уже применялись при решении задач в других отраслях техники.

Сравните два изобретения:

Изобретение № 112684
1958 г.

«Устройство для очистки поверхностей свай, находящихся в воде, отличающееся тем, что оно выполнено в виде одеваемого на сваю кольцевого поплавка, снабженного подпружиненными рифлеными валиками, очищающими поверхность свай в процессе вертикального перемещения поплавка при волнении».

Изобретение № 163892
1964 г.

«Устройство для очистки всасывающего патрубка насоса от морских водорослей, отличающееся тем, что оно выполнено в виде смонтированных подвижно на патрубке хомутов с ножами, причем очистка патрубка производится при вертикальном движении поплавка на волнах».

Изобретения относятся к разным патентным разделам, а идея у них общая: цилиндрическая конструкция (свая, труба), находящаяся в воде, может «самоочищаться» кольцевым поплавком, перемещающимся при волнении. Но второе изобретение сделано только через

шесть лет после первого. Пройдут годы, и кто-то вновь использует эту идею применительно к другой конструкции (не обязательно даже цилиндрической).

Здесь отчетливо проявляется низкий уровень организации изобретательского творчества. Есть общий принцип, общий ключ к целой группе изобретений, но после однократного использования этот ключ выбрасывают и в следующий раз приходится заново искать решение путем долгих «проб и ошибок».

Бывает и хуже: ключ выбрасывают, даже не используя! Как-то в журнале «Изобретатель и рационализатор» появилась ехидная заметка. Некий Р. Петц из Санкт-Петербурга, говорилось в заметке, получил привилегию № 22347 на пневматическую защиту паровоза при столкновении: по мысли изобретателя впереди паровоза размещался надувной резиновый амортизатор. Заканчивалась заметка так: «Разумеется, при первом же солидном ударе изобретение лопнуло бы и в прямом и в переносном смысле». Что ж, в прямом смысле изобретение могло бы и лопнуть. Зато в переносном смысле оно оказалось весьма живучим: идея надувного амортизатора была вновь найдена другими изобретателями. Советский изобретатель Морев получил авторское свидетельство № 115000 на надувной мешок-амортизатор для авиапассажиров. Вскоре американцу Шандору Бела выдали патент № 2931665 на аналогичный амортизатор для шоферов. Затем на железных дорогах Франции стали применять надувные амортизаторы, предохраняющие грузы от ударов в пути. Наконец, появилось сообщение, что в Гамбурге ведутся опыты по применению надувных мешков из резины или нейлона для предохранения грузов от ударов при качке...

Анализ изобретений (были проанализированы тысячи авторских свидетельств и патентов) показывает, что существует несколько десятков общих принципов, лежащих в основе большинства современных изобретательских идей.

Приведу пример. Чтобы шахтная крепь лучше противодействовала давлению вышележащих горных пород, перешли от прямых балок к арочным. Некоторое время спустя этот прием был использован и в гидростроении: на смену прямым плотинам пришли арочные. В горной технике следующим шагом был переход от жесткой ароч-

ной крепи к податливой шарнирной. Точно так же вслед за арочными плотинами были созданы податливые шарнирные плотины.

Производство экскаваторных ковшей — совсем другая область техники, однако и здесь та же логика развития: сначала передняя кромка ковша была прямой и зубчатой (она даже внешне походила на прямую плотину), затем появился арочный ковш. «Надо полагать,— писал я в первом издании этой книги,— следующим, пока еще не сделанным, шагом будет создание податливых шарнирных ковшей». Прогноз оказался верным, и вскоре я увидел в «Бюллетене изобретений» авторское свидетельство № 284715: «Ковш к машине для погрузки породы, включающий днище с режущей частью, боковые и заднюю стенки, отличающийся тем, что с целью уменьшения напорных усилий при внедрении ковша его режущая часть выполнена по ширине ковша составной с секциями, каждая из которых шарнирно прикреплена к днищу».

Продолжая анализ изобретений, можно обнаружить общий для разных отраслей принцип — отчетливую тенденцию перехода от прямолинейных объектов к криволинейным, от плоских поверхностей к сферическим, от кубических конструкций к шаровым.

Существуют и другие общие принципы, из которых каждый дает «куст» изобретений. Все это патентоспособные и разные изобретения, в основе которых лежит общий принцип. Зная такие принципы и умея ими пользоваться, можно существенно повысить к.п.д. творческой работы. Это одна из главных предпосылок создания рациональной системы решения изобретательских задач.

* * *

Задавая вопрос: «Как делаются изобретения?» — часто забывают, что изобретательское творчество не есть что-то неизменное. В разные эпохи изобретали по-разному. Поэтому утверждения, относящиеся к творчеству современного изобретателя, нельзя (без поправок на время) основывать на фактах, связанных с изобретениями, сделанными 50 или 100 лет назад. Однако чаще всего именно так и поступают. Описывается история какого-либо изобретения и само собой подразумевается, что выводы имеют силу и при решении современных технических задач.

«Известно,— пишет, например, Н. Серед а в книге «Рабочий-изобретатель»,— что английский изобретатель Генри Бессемер (1813—1898), не будучи металлургом и не располагая необходимыми теоретическими сведениями, эмпирически открыл и запатентовал в 1860 году способ передела жидкого чугуна в литую сталь путем продува сквозь него сжатого воздуха во вращающемся конвертере. Следовательно, в числе изобретателей есть и такие, которые не имеют достаточных теоретических познаний, их изобретения являются результатом пытливой мысли и упорного, кропотливого труда...»¹

Бессемер действительно пришел к своему изобретению на ощупь, но сейчас, спустя столетие, в той же металлургии искать новое эмпирическим путем крайне нерационально. Взять хотя бы столь частную для металлургии задачу, как создание нового жаропрочного сплава. Вот что говорит об этом академик П. Капица:

«Применение эмпиризма в этих исследованиях обычно связано с трудоемким накоплением больших количеств опытных данных и с большой сложностью их систематизации и использования... Нам известно около 100 элементов, которые образуют сплавы. Положим, что описание нужных свойств одного металла или сплава, его прочности, жаропрочности, упругости, электропроводности и т. д. занимает одну страницу. Для описания свойств самих элементов потребуется 100 страниц, для описания бинарных сплавов потребуется уже 10 тысяч страниц. Сплавы тройных систем займут миллион страниц. Таким образом, эмпирический метод изучения имеет свои естественные пределы»². Действительно, если бессистемно перебирать все мыслимые варианты решения современной технической задачи, то не хватит человеческой жизни. Можно, конечно, рассчитывать на случайную удачу — вроде той, которая в свое время помогла Бессемеру. «Такие многокомпонентные сплавы,— продолжает П. Капица,— может быть, были найдены случайно, но вероятнее — интуитивным «нюхом» талантливого ученого, который, как искусный повар, умеет готовить вкуснее других.

¹ Н. Серед а. Рабочий-изобретатель. Рига, изд. «Лиесма», 1961, стр. 26.

² П. Капица. Будущее науки. «Наука и жизнь», 1962, № 3, стр. 22.

Если есть интуиция, значит, есть и закономерности. Задача науки — выявить эти закономерности».

Во времена Бессемера изобретатель вынужден был идти к цели методом «проб и ошибок», рассчитывая на терпение или счастливую находку — тогда других методов творческой работы просто не знали. Теперь положение несравнимо изменилось, изобретательская задача, как правило, может быть решена в результате планомерных мыслительных операций. **Главное значение приобретает правильная организация творческого процесса**, а не количество дней, месяцев, лет, затраченных на слепые поиски.

Отдавая должное терпению, присущему великим изобретателям прошлого, нельзя забывать, что современный изобретатель может и должен работать иначе. В наше время долгие поиски идеи, решения свидетельствуют не только о настойчивости изобретателя, но и о плохой организации творческой работы.

* * *

Творчество вполне совместимо с системой, с планомерностью. Творчество характеризуется не озарением и вдохновением, а результатом работы. Если создано нечто новое, значит, работа творческая. Дело вовсе не в количестве «проб и ошибок». Задачи могут и должны решаться умением, а не числом попыток.

Никто не сомневается, например, что получение нового химического вещества — творчество. Однако бесчисленные химические вещества построены из одних и тех же «типовых деталей» — из химических элементов. Можно пытаться создавать новые химические вещества, наугад подбирая разные « типовые детали ». Так раньше и делали алхимики. А можно изучить не только « типовые детали » (химические элементы), но и законы их соединения. Этим занимается современная химия. Новые вещества, созданные и создаваемые современными химиками, намного сложнее серной кислоты, «творчески» открытой алхимиками. Но кто скажет, например, что синтетические полимеры — это не результат творчества?!

Творчество — понятие меняющееся: его содержание постоянно обновляется. Одни виды деятельности исключаются из категории творческих, другие (более сложные) включаются. Было время, когда даже простые арифмети-

ческие задачи считались творческими. В XV веке один ученый взялся научить купеческого сына сложению, но написал (письмо сохранилось до нашего времени), что умножению римских цифр обучать не сможет. В письме содержится совет отправить ученика в Италию, где возможно, есть хорошие специалисты по умножению...

Весь смысл теории изобретательства, в сущности, состоит в том, что задачи, сегодня по праву числящиеся творческими, она позволяет решать на том уровне организации умственного труда, который будет завтра.

Когда-то величайшими догадками были идеи о возможности соединить паровой двигатель с кораблем и получить пароход, соединить паровой двигатель с рельсовой тележкой и получить паровоз. Имена их авторов вошли в историю. Но не пытайтесь вспомнить, кто изобрел атомоход. Простые комбинационные приемы, бывшие когда-то вершиной творчества, стали общедоступными. В «Основах изобретательства» рассказано о задаче, поставившей в тупик Эдисона. Суть задачи такова.

Эдисон лично беседовал с теми, кто хотел поступить к нему в лабораторию. Он расспрашивал об их планах, интересовался, есть ли у них идеи, которые они стремились бы развить. Однажды некий молодой человек сказал Эдисону, что у него есть чудесная идея.

— Чудесная? — переспросил Эдисон.

Молодой человек объяснил:

— Я хочу изобрести универсальный растворитель. Понимаете, жидкость, которая бы все растворяла.

— Универсальный растворитель? — удивился Эдисон. — Скажите, а в какой посуде вы собираетесь его хранить?!

Молодой человек растерянно промолчал...

И вот «Пионерская правда» предложила эту задачу школьникам 5—7-х классов. Редакция дала мне возможность познакомиться с полученными ответами. Из 3000 участвовавших в конкурсе пионерских отрядов более 2500 справились с задачей, ошеломившей Эдисона.

Вот некоторые ответы: «Хранить растворитель надо при низкой температуре, в замороженном виде» (6-й класс); «Надо хранить растворитель в твердом виде» (6-й класс); «Растворитель будет проводником, поэтому его можно хранить в электромагнитном поле, как плазму» (7-й класс).

Полвека назад идея сохранения универсального растворителя в другом агрегатном состоянии, в химически связанном виде или в электромагнитном поле была бы шедевром изобретательского творчества. Сейчас такими приемами уверенно владеют школьники.

Разве изобретательство от этого прекратилось? Возникли новые, более сложные задачи и новые, более тонкие приемы их решения.

Допустим, произойдет самое «страшное» — решение современных изобретательских задач удастся полностью автоматизировать. Что же, сразу возникнут новые задачи — более высокого порядка сложности.

Мир безграничен, вселенная неисчерпаема, и человеческому уму никогда не грозит безработица.

ИДЕАЛЬНАЯ МАШИНА

Существует наивное, но распространенное мнение, будто новые машины, механизмы, приборы возникают «из ничего»: сначала ничего нет, но приходит великий изобретатель и создает нечто вполне готовое. По такой примерно схеме, если верить мифам, в свое время появилась богиня Афина Паллада: взмахнул Гефест топором, мощным ударом расколол череп Зевсу, не повредив ему, и вышла на свет из головы громовержца могучая воительница богиня Афина Паллада. В полном вооружении, в блестящем шлеме, с копьем и щитом предстала она перед изумленными очами богов-олимпийцев...

Машины, однако, не выходят из головы изобретателя «в полном вооружении». Они рождаются слабыми и крепнут постепенно, вбирая в себя многие изобретения. На рис. 4 показана, например, двухсотлетняя история гребного винта. Изобретательская мысль шла тремя разными путями — в качестве прототипов были взяты крылья ветряной мельницы, водоподъемный винт Архимеда и водяное мельничное колесо. Каждый прототип развивался усилиями многих изобретателей в разных странах¹. Три цепи изобретений постепенно сближались и привели наконец к появлению современных гребных винтов.

За любой современной машиной (это относится также к механизмам, к производственным процессам, словом, к любым техническим объектам) стоят десятки, сотни и тысячи последовательных изобретений. Даже по такой несложной «машине», как карандаш, выдано более двадцати тысяч патентов и авторских свидетельств!

Каждое изобретение подталкивает развитие машины. В паузах между двумя «толчками» машина остается не-

¹ Подробнее см И А Лучанский, А А Яновский. От весла до водомета. М., изд-во «Судостроение», 1966

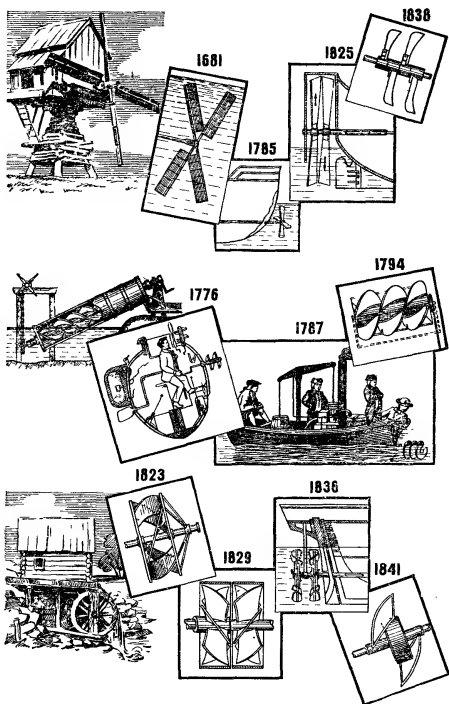
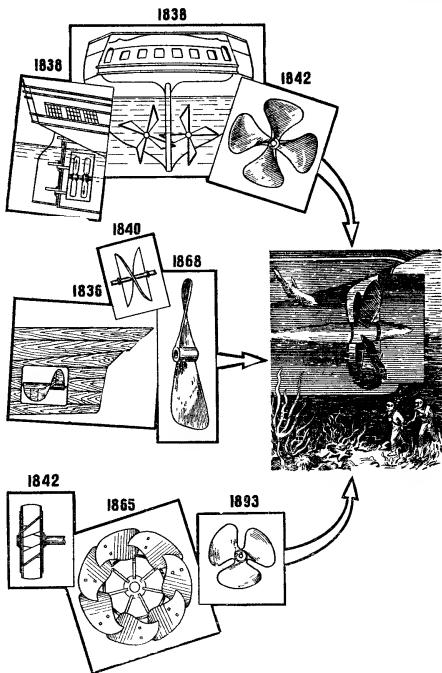


Рис. 4. Двухсотлетняя история гребного винта.



изменной. Раньше эти промежутки были длительными, машины совершенствовались медленно. Путь от первого экспериментального образца до первой практически пригодной вещи занимал десятки лет. Например, идея электрической лампы накаливания возникла еще в начале XIX века. Первый опыт освещения раскаленным проводником был поставлен в 1840 году. А первая лампа, пригодная для массового использования, появилась лишь тридцать девять лет спустя.

В наше время машины, механизмы, приборы взрослеют намного быстрее. Например, идея оптического квантового генератора (лазера) высказана в 1952 году, через два года уже проводились испытания первого такого прибора, а еще через шесть лет налажен промышленный выпуск разнообразных лазеров.

Машины развиваются постоянно, и поэтому в изобретательских задачах никогда нет недостатка. Между тем изобретатели занимаются решением новых технических задач, как правило, от случая к случаю.

Как показали анкетные опросы, существуют, так сказать, два типа отношений между изобретателем и задачей. Из десяти изобретателей восемь как бы выжидают, пока решение задачи станет остро необходимым, и лишь после этого приступают к работе. Тут, в сущности, задача сама находит изобретателя.

Другие изобретатели ведут активный поиск нерешенных проблем: зная, что требования к данной машине завтра возрастут, изобретатели уже сегодня выявляют перспективные задачи и решают их, используя наиболее современные технические средства.

Различие тут весьма существенное. Представьте себе, что человек толкает вагонетку. Можно, толкнув вагонетку, ждать, пока она будет двигаться по инерции, а потом снова толкнуть. Можно поступить иначе, непрерывно подталкивать вагонетку. Понятно, что во втором случае скорость движения будет значительно больше. Так обстоит дело и в изобретательстве. Налаженное производство движется, не встречая препятствий, и изобретателю кажется, что нет поводов к творчеству. Потом вдруг появляется какое-то «узкое место», например возникают перебои в снабжении материалами. Только тогда изобретатель принимается за решение проблемы, возникновение которой легко было предвидеть раньше.

Долгое время считалось, что массовое изобретательство вообще требуется лишь для устранения «узких мест» производства. Изобретатели рассматривались как некий резерв, который надо вводить в действие лишь в «аварийных» случаях. В первые послевоенные годы таких случаев было достаточно, чтобы «нагрузить» новаторов. Но производство налаживалось, перебои, трудности и прочие «узкие места» становились все более редкими. А число людей, стремящихся не только производить, но и совершенствовать процесс производства, быстро увеличивалось. Теперь, в период развернутого строительства материальной базы коммунизма, изобретатели не должны, не могут ограничиться борьбой с «узкими местами». Технику надо совершенствовать постоянно и планомерно.

Ждать, пока возникнет «узкое место», тормозящее развитие производства, все равно что ждать обострения болезни и лишь тогда задумываться о ее лечении. Если производство выдвинуло задачу — это значит, что решение нужно уже в данный момент. А на поиски решения, на конструкторскую отработку и доводку изобретений, наконец, на вещественное воплощение идеи — даже в лучшем случае — нужно немало времени. Почему же все это время неотложная задача должна ждать?!

«Чаще всего изобретательская задача возникает у постели больного, — пишет, отвечая на анкету, изобретатель И. П. Хмельчонок (Иркутск). — Бывает так, что существующими инструментами мы не можем спасти жизнь человеку, например, извлечь инородное тело из бронха. Вот тогда начинаешь думать о создании нового инструмента».

К сожалению, так работают изобретатели во многих отраслях техники. Вот что пишет изобретатель Л. из города Лысьва:

«Как-то на заводе возникла острая необходимость снизить расход дефицитного материала, идущего на покрытие изделий. Мне удалось разработать способ односторонней металлизации, и я получил авторское свидетельство на изобретение».

Л. — технолог по специальности, имеет производственный стаж 33 года. И вот за треть века он сделал всего одно изобретение — и то лишь по случаю «возникновения острой необходимости»! Но разве и без «острой необходимости» нельзя было искать новые способы экономии

металла? Можно не сомневаться, что этот безусловно одаренный человек за треть века смог бы сделать десятки ценнейших изобретений.

И еще одно примечательное высказывание:

«Начинаем работу с того, что упираемся в стенку», — говорит в своей анкете изобретатель, главный инженер завода Л. С. Иванов (Ставрополь).

Несколько десятилетий назад почти во всех отраслях техники изобретательством можно было заниматься эпизодически. Человек считался изобретателем, если за десять — пятнадцать лет он получал одно-два авторских свидетельства. В наше время темпы развития техники резко ускорились, непрерывно растет и потребность в изобретениях. Машины все быстрее и быстрее вытесняются новыми, более совершенными. В этих условиях уже трудно считать изобретателем человека, который занимается созданием нового от случая к случаю и решает изобретательские задачи, скажем, раз в пять — десять лет. Ведь не считаем мы певцом человека, который поет раз в году...

Если решать изобретательские задачи с большими промежутками, то опыт и навыки, приобретенные в процессе творческой работы, будут утрачиваться. Каждый раз придется заново приобретать изобретательскую квалификацию. Постоянная творческая работа, наоборот, обогащает арсенал приемов, дает уверенность в своих силах.

Характерно, что почти все изобретатели, ведущие (по данным анкетных опросов) активный поиск задач, имеют при сравнительно небольшом стаже работы (пять — семь лет) по пятнадцать — двадцать авторских свидетельств.

Изобретательство становится второй постоянной профессией творчески мыслящего рабочего, техника, инженера.

* * *

В изобретательских задачах никогда и нигде нет недостатка, нужно только уметь правильно выбирать, отличать задачи действительно необходимые от таких, которые можно решать, а можно и не решать.

Обычно изобретательскую задачу формулируют так: «Создать такой-то технический объект для таких-то целей». Иногда речь идет не о создании, а об усовершенст-

вовании уже имеющегося объекта: «Улучшить такой-то объект, чтобы получились такие-то результаты». Бывает и так, что задача дается в половинчатой формулировке: «Улучшить то-то». В этом случае цель улучшения считается очевидной. Например, если речь идет об уменьшении веса транспортных машин, то цели здесь достаточно ясны. Реже задача состоит из другой «половины»: «Достичь такого-то результата». При этом обычно неизвестно, что является техническим объектом и какую именно машину (часть машины, процесс) надо улучшить или создать.

В большинстве случаев изобретатель получает уже сформулированную задачу. Для всего творческого процесса чрезвычайно важно избежать ошибки в постановке задачи. Поэтому никогда нельзя принимать на веру задачи, сформулированные другими. Если бы эти задачи были правильно сформулированы, их, вероятнее всего, решили бы те, кто впервые их встретил.

Представьте себе, что некто зашел в тупик. И вот вам предлагается пройти дальше по этому тупику. Что и говорить — занятие малоцелесообразное! Надо поступить иначе: сначала отойти к исходной точке, а затем пойти в правильном направлении. К сожалению, задачи чаще всего формулируются так, что они настоятельно (хотя и незаметно) толкают в тупик.

Чтобы понять, почему это происходит, посмотрим, как появляется формулировка изобретательской задачи.

Производство ежечасно, ежеминутно ставит самые различные задачи. Каждый день на любом заводе главный инженер, конструкторы, технологи, мастера, рабочие решают множество технических задач. Чаще всего их можно решить в рабочем порядке, используя общеизвестные приемы и способы. Нередко приходится сталкиваться с задачами, для решения которых нужны элементы технического творчества. Это — рационализация: творчество проявляется в том, чтобы найти нечто уже известное в данной отрасли техники и приспособить применительно к конкретным условиям. Иными словами, надо найти один из наиболее подходящих ключей и подогнать его по замку. Решение же изобретательской задачи — это тот случай, когда вообще нет готового ключа.

Намного проще сделать ключ заново, чем возиться с переделкой плохой, подчас вообще неисправимой заго-

товки. Между тем чаще всего изобретателю приходится начинать именно с такой плохой заготовки.

Как это получается?

В процессе производства возникла задача. Сначала решение ее искали в рабочем порядке, применяя широко известные средства, но они оказались непригодными. Попытались решить задачу на рационализаторском уровне, однако и это не привело к успеху. Тогда начались попытки найти решение по-изобретательски, то есть придумать нечто новое. Если это удалось, задача не попадает в темники.

Допустим теперь, что придумать новое не удалось; те, кто первыми столкнулись с задачей и попытались решить ее на изобретательском уровне, зашли в тупик. Они обратились к помощи других изобретателей и сформулировали условия задачи. При этом были две возможности: либо изложить задачу так, как она рисовалась при первой встрече, либо сформулировать то, на чем пришлось остановиться. В подавляющем большинстве случаев, предпочитают последнее. Намерения при этом самые благие: «Ведь уже пройдено полдороги, зачем же начинать сначала?» Действительно, расстояние пройдено — и подчас немалое. Но пройдено-то оно не в ту сторону!

В условиях задачи, как мы видели, есть два указания: какова цель (что надо достичь) и каковы средства (что надо сделать, улучшить, изменить). Цель почти всегда выбирается правильно. А средства почти всегда указываются неверно. Та же цель может быть достигнута и другими средствами.

Пожалуй, это самая распространенная ошибка при постановке задачи. Для достижения какого-то результата изобретателя ориентируют на создание новой машины (процесса, механизма, прибора и т. д.). Внешне это выглядит логично. Есть машина, скажем, M_1 , дающая результат P_1 . Теперь нужно получить результат P_2 , и, следовательно, нужна машина M_2 . Обычно P_2 больше P_1 , поэтому кажется очевидным, что M_2 больше M_1 .

С точки зрения формальной логики здесь все верно. Но логика развития техники — это логика диалектическая. Чтобы получить, например, двойной результат, вовсе не обязательно использовать удвоенные средства.

Некоторое время назад был объявлен конкурс на лучшее предложение по механизации погрузки тарных гру-

зов (мешков) в железнодорожные вагоны. При ручной погрузке рабочий берет из штабеля (в складе) мешок и несет его в вагон, где снова укладывает в штабель. Перемещение груза от склада до вагона легко механизмуется, например, применением транспортеров. Однако нет портативных машин, которые могли бы штабелировать грузы в вагоне. Автопогрузчики, перевозящие на поддонах по 6—10 мешков, с трудом разворачиваются внутри вагона и не обеспечивают нужной скорости погрузки. В условиях конкурса задача формулировалась так: усовершенствовать транспортеры или автопогрузчики, чтобы полностью устранить ручной труд.

Правильно ли поставлена задача?

Конечно, нет. Ее пытались решить, используя известные средства (транспортеры, автопогрузчики). Зашли в тупик. И предложили задачу именно в этой «тупиковой» формулировке: надо усовершенствовать транспортеры или автопогрузчики...

Условия задачи сужены. Проблема состоит в том, чтобы обеспечить высокопроизводительную погрузку тарных грузов в вагон. И недопустимо заранее подменять эту общую задачу другой, более узкой: усовершенствовать транспортеры или автопогрузчики. Ведь не исключено, что задача будет решена вообще без применения этих машин.

Чтобы правильно сформулировать задачу, необходимо учесть тенденции развития данного технического объекта. В частности, главная тенденция в развитии погрузочно-разгрузочных работ состоит в том, чтобы оперировать большими «блоками» грузов. Грузить не по одному мешку (как на транспортере) и не по 6—10 мешков (как на автопогрузчике), а «блоками» в 50 или 70 мешков — вот в чем правильная задача.

Существует простой способ проверить, верно ли поставлена задача: надо посмотреть, как формулируются аналогичные задачи в других отраслях техники. В особенности там, где задачи ставятся более жестко или имеют больший масштаб. Так, например, для уточнения задачи о транспортировке тарных грузов надо равняться на строительную технику: в строительстве часто приходится вести массовую транспортировку штучных грузов.

Раньше стройматериалы (кирпичи, камни и т. п.) вручную укладывали на машины, а на стройке вручную

разгружали. Затем перешли к использованию крупных блоков и панелей, что создало условия для эффективной механизации погрузки и разгрузки.

Штабель мешков нечто вроде крупного блока. Целесообразно ли его ломать, затем с помощью механизмов доставлять «обломки» в вагон и там снова восстанавливать блок? Очевидно, такое решение не диктуется тенденциями развития техники.

Так мы еще раз приходим к выводу, что первоначальная формулировка задачи бесперспективна. Вместе с тем уже отчетливо вырисовывается правильная задача: крупный «блок» штабеля (размеры «блока» лимитируются только размерами дверного проема вагона) должен целиком вдвигаться в вагон и занимать там свое место.

Как и следовало ожидать, лучшим на конкурсе оказалось предложение, решающее именно эту задачу. Оно обеспечивало наибольшую скорость погрузки при наименьших затратах на механизацию: поддоны, несущие по 50 мешков, сами скатывались на шаровых опорах (или воздушной подушке) в открытые двери вагона.

* * *

Машины развиваются не «как попало», а в определенной логической последовательности.

На рис. 5 показано, например, как развивался паровой котел. К конструкции котла предъявляются противоречивые требования: для обеспечения прочности — при повышении давления — котел должен иметь шаровую или цилиндрическую форму, а эта форма дает минимальную поверхность нагрева и, следовательно, низкую паропроизводительность. Чтобы удовлетворить этим противоречивым требованиям, пришлось сохранить цилиндрическую форму и одновременно увеличить длину цилиндра. Котел-сосуд постепенно превратился в систему труб с большой суммарной поверхностью нагрева.

Одно из главных направлений в развитии машин — изменение их размеров. Машины рождаются, если так можно выразиться, средней величины. А затем начинается их развитие в двух противоположных направлениях: идет увеличение размеров и одновременно создаются образцы все более миниатюрные. Две эти тенденции отчетливо видны, например, в развитии экскаватора. Для транспортных и обрабатывающих машин типичнее увеличе-

ние размеров единичного агрегата. А вот контрольно-измерительные приборы, например, имеют тенденцию к уменьшению размеров.

Каждая машина стремится к определенному идеалу и развивается, так сказать, по своей линии. Но в конечном счете эти линии сходятся в одну точку — подобно тому, как сходятся у полюса меридианы. «Полюсом» для всех линий развития является «идеальная машина».

«Идеальная машина» — это условный эталон, обладающий следующими особенностями: вес, объем и площадь объекта, с которым машина работает (то есть транспортирует, обрабатывает и т. п.), совпадают или почти совпадают с весом, объемом и площадью самой машины.

Машина не самоцель, она только средство для выполнения определенной работы. Например, вертолет предназначен для перевозки пассажиров и грузов. При этом мы вынуждены — именно вынуждены! — «возить» и сам вертолет. Поинтно, что вертолет будет тем «идеальнее», чем меньше окажется его собственный вес (при условии, что другие качества не ухудшатся). Идеальный вертолет состоял бы из одной только пассажирской кабины, способной перемещаться с такой скоростью, с какой ее «возит» вертолет.

И еще одна особенность идеальной машины: все ее части все время выполняют полезную работу в полную меру своих расчетных возможностей.

Машина существует для того, чтобы работать. Между тем многие машины работают лишь периодически. Больше того, мы привыкли считать машину работающей даже в тех случаях, когда фактически работает какая-то одна ее часть, а остальные части простаивают. Так, машина, перевозящая стеновые панели, простаивает при каждом рейсе сорок — пятьдесят минут. При погрузке

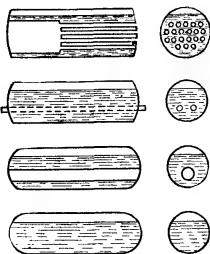


Рис. 5. Эволюция парового котла: котел-сосуд превратился в систему труб с большой суммарной поверхностью нагрева.

(или разгрузке) работает только кузов машины, а двигатель и ходовая часть бездействуют. Та же автомашина в комплексе с несколькими съемными кузовами почти не теряет времени на погрузку и разгрузку: нагружают один кузов, машина везет другой, а третий кузов уже разгружается, поджидая машину на стройке.

Прогрессивными и действующими в течение долгого времени оказываются только те тенденции, которые приближают реальную машину к идеальной. Взять хотя бы такую тенденцию, как увеличение размеров единичного агрегата. На первый взгляд неясно, почему увеличение размеров приближает машину к идеальной. Но все очень просто: чем больше машина, тем обычно меньше отношение ее собственного веса (объема, площади) к тому весу (объему, площади), с которым она работает. Грузовик, перевозящий три тонны груза, весит полторы тонны. Треть усилий двигателя тратится на то, чтобы «катать» саму конструкцию. Грузовик же, рассчитанный на пятнадцатитонный груз, весит всего пять тонн. Доля «мертвого» груза значительно снижается, а именно это и приближает машину к идеальной. 140-тонный самосвал разгружается за пятнадцать секунд — это намного меньше времени, необходимого для разгрузки двадцати восьми пятитонных машин.

Нередко идеалом считают машину «покрасивее». Это серьезная ошибка. Она создает психологический барьер, который изобретателю нелегко преодолеть. Мысль заранее настраивается на поиски решений в тех направлениях, которые ведут к машинам «изящным», «красивым». Принципиально новые пути при этом чаще всего оказываются в стороне.

Не приходится спорить: хорошая машина обязана быть красивой. Но это относится к «взрослым» машинам, а новорожденная имеет право быть уродливой. Важно, чтобы ее принцип был более совершенным, чем принцип уже известных машин. Если это условие соблюдено, можно не сомневаться, что машина скоро «похорошеет» и затмит старых красавиц.

Изобретатель, решая задачу, не должен думать о красоте будущей машины. Надо не бояться, если понадобится, предложить внешне еще неуклюжую, но внутренне безупречную конструкцию.

* * *

Если задача решается методом «проб и ошибок», поиски идут либо по «вектору инерции», либо — в лучшем случае — «во все стороны». Между тем, приступая к решению задачи, изобретатель может резко сузить «угол поисков». Решение должно приближать исходный объект к идеальной машине. Определив, какой должна быть в данном случае идеальная машина, изобретатель сразу находит наиболее перспективное направление поисков.

Разумеется, в каждом конкретном случае нужно уметь определить идеальную машину. Чем точнее изобретатель представляет себе идеальную машину, тем меньше доля случайности, тем направленнее ведутся поиски.

Идеальная машина играет роль маяка, указывающего, куда надо идти. Когда изобретатель ищет решение без такого маяка, его мысли разбегаются под влиянием множества причин. «Каждый из нас,— пишет американский психолог Эдвард Торндайк,— при решении интеллектуальной задачи осаждается буквально со всех сторон различными тенденциями. Каждый отдельный элемент как бы стремится захватить сферу влияния на нашу нервную систему, вызвать свои ассоциации, не считаясь с другими элементами и общим их настроением».

Привычные схемы осаждают изобретателя, блокируют пути, ведущие к принципиально новым решениям. В этих условиях, как отмечал И. П. Павлов, особенно сильно дают себя знать обычные слабости мысли: стереотипность и предвзятость.

П л а н о м е р н ы й поиск, наоборот, упорядочивает мышление, повышает его продуктивность. Мысли как бы концентрируются на одном (главном для данной задачи) направлении. При этом посторонние идеи оттесняются, уходят, а идеи, непосредственно относящиеся к задаче, сближаются. В результате резко повышается вероятность встречи таких мыслей, от соединения которых и рождается изобретение.

Направленные поиски отнюдь не исключают интуицию. Напротив, упорядочение мышления создает «настройку», благоприятную для проявления интуиции.

* * *

Понятие об идеальной машине — одно из фундаментальных для всей методики изобретательства. Многие

трудные задачи только потому и трудны, что в них содержатся требования, противоречащие главной тенденции в развитии машин — стремлению быть «повоздушнее». Почти все темники пестрят словами: «Создать устройство, которое...» Но зачастую никакого устройства и не надо создавать: вся соль задачи состоит в том, чтобы обеспечить требуемый результат «без ничего» или «почти без ничего». В сущности, идеальное решение — это когда машины совсем нет, а результат получается тот же, что и с машиной.

Возьмем для примера конкретную изобретательскую задачу — одну из тех, что публикуются в журнале «Изобретатель и рационализатор» под рубрикой «Требуется изобретения».

Задача 2

«Существующие дождевальные машины имеют низкую производительность. Если же попытаться достичь нужной интенсивности дождевания, увеличивая ширину захвата крыльев машин, резко возрастет их металлоемкость.

Выход? Облегчить конструкцию, применяя пластмассы. И подумать над тем, чем заменить... лейку. Ведь в дождевальных машинах используется принцип именно этого простейшего садового инструмента. Веера трубок, многоэтажный душ, пульверизаторы и разбрызгивающие турбины — все что угодно, лишь бы при экономии каждого квадратного сантиметра площади крыльев машины дождь моросил над наибольшей поверхностью участка»¹.

Дождевальная машина — это трактор, оборудованный насосом и фермами-крыльями (консолями). На крыльях укреплены разбрызгиватели (лейки). Двухконсольный агрегат ДД-100М подает каждую секунду 90—100 л воды. Рабочий напор — 30 м, рабочая ширина захвата — 120 м. Машина передвигается вдоль оросительных каналов, нарезанных через каждые 120 м.

Дождеватели — металлоемкие, громоздкие сооружения. Вес фермы пропорционален кубу ее длины. Если, например, увеличить длину фермы только наполовину, то вес ее возрастет в 3 с половиной раза. Поэтому и приходится ограничиваться крыльями размахом около 100 м.

¹ «Изобретатель и рационализатор», 1964, № 6, стр. 4.

Делалось немало попыток решения этой задачи. «Поливная труба», например, подвешивалась на аэростатах. Или поднималась с помощью вертолетов, винты которых вращаются под напором накачиваемой снизу воды. Или устанавливалась на башне и приводилась во вращение с помощью турбореактивных двигателей. Нетрудно заметить нечто общее в этих проектах: они несколько не приближают исходный объект к идеальной машине.

Для полива нужна только вода. Оборудование лишь помогает доставлять воду. Понятно, что чем проще и компактнее будет это оборудование, тем ближе мы подойдем к идеальному дождевателю. Аэростаты, вертолеты, турбореактивные двигатели — все это существенно усложняет исходную конструкцию дождевателя. Тут пробы явно направлены в сторону от идеальной машины.

Намного лучше самоходная дождевальная установка с надувными консолями¹. В ее конструкции уже чувствуется некоторое приближение к идеальному дождевателю: вес консолей уменьшается, в нерабочем положении консоли могут быть компактно сложены. К сожалению, с увеличением размаха надувных крыльев быстро увеличивается их площадь, растет парусность, помехой становится даже небольшой ветер.

Идеальный дождеватель представлял бы собой поливную трубу, которая сама (без трактора и поддерживающей фермы) передвигалась бы над полем. Труба эта, очевидно, должна быть в несколько раз длиннее, чем ферма современного дождевателя. В нерабочем положении труба должна занимать возможно меньший объем.

Мы довольно точно определили, какой должна быть в данном случае идеальная машина. Попробуйте поискать решение. Задача опять-таки учебная, поэтому не надо предлагать другие способы орошения (подземные или перетаскиваемые трубопроводы, брандспойты и т. п.). Речь идет о передвижном дождевателе. Надо заставить легкую поливную трубу длиной метров в 300 передвигаться над полем. По возможности без сложных приспособлений.

¹ См авторское свидетельство № 144335.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ

Попытаемся решить задачу о дождевателе обычными приемами. Нужно втрое увеличить размах крыльев; что ж, сделать трехсотметровую ферму технически вполне осуществимо. Что мы при этом проиграем? Возрастет вес. Если размах крыльев увеличить втрое, ферма станет тяжелее в 27 раз.

У машин и механизмов (вообще у технических объектов) есть несколько важнейших показателей, характеризующих степень их совершенства: вес, габариты, мощность, надежность и др. Между этими показателями существуют определенные взаимозависимости. Скажем, на одну единицу мощности требуется определенный вес конструкции. Чтобы увеличить один из показателей уже известными в данной отрасли техники путями, приходится «платить» ухудшением другого.

Вот типичный пример из авиаконструкторской практики: «Увеличение в 2 раза площади вертикального оперения одного из типов самолетов уменьшило амплитуду колебаний самолета всего лишь на 50%. Но это, в свою очередь, повысило восприимчивость самолета к порывам ветра, увеличило лобовое сопротивление, утяжелило конструкцию самолета, — что выдвинуло дополнительные сложные задачи¹.

Конструктор, учитывая конкретные условия, выбирает наиболее благоприятное сочетание характеристик: что-то выигрывает, а что-то проигрывает. «Когда вы обдумываете решение и технические условия, — говорит известный авиаконструктор О. Антонов, — которые, может быть, и не будут никогда записаны на бумаге, выделите самое главное. Только в крайнем случае, если что-нибудь не удастся выполнить, идите к допустимому. Допустимое — это

¹ В. Г. Деиисов, Р. Н. Лопатин. Летчик и самолет. М., Оборонгиз, 1962, стр. 17.

некоторое невыполнение заданных технических условий, так сказать, компромиссное решение. Предположим, конструируя самолет, вы выполните требования по грузоподъемности и скорости, но у вас немножко не выйдет с длиной разбега. Тогда вы начнете взвешивать эти три важных требования и, возможно, несколько поступитесь разбегом — пусть разбег будет не 500, а 550 метров, зато все остальные качества будут достигнуты. Это как раз то, что допустимо»¹.

Академик А. Н. Крылов в своих воспоминаниях рассказывает о таком эпизоде. В 1924 году ученый работал в составе советско-французской комиссии, осматривавшей в гавани Бизерты русские военные корабли, увиденные туда Врангелем. Здесь бок о бок с русским эсминцем стоял эсминец французский — примерно того же возраста и размеров. Разница в боевой мощи кораблей была настолько велика, что адмирал Буи — председатель комиссии — не выдержал и воскликнул: «У вас пушки, а у нас пукалки! Каким образом вы достигли такой разницы в вооружении эсминцев?» Крылов ответил так: «Взгляните, адмирал, на палубу: кроме стрингера, в котором вся крепость, все остальное, представляющее как бы крышу, проржавело почти насквозь, трубы, их кожухи, рубки и т. п. — все изношено. Посмотрите на ваш эсминец, на нем все как новенькое, правда, наш миноносец шесть лет без ухода и без окраски, но не в этом главная суть. Ваш миноносец построен из обыкновенной стали и на нем взято расчетное напряжение в 7 кг на 1 мм², как будто бы это был коммерческий корабль, который должен служить не менее 24 лет. Наш построен целиком из стали высокого сопротивления, напряжение допущено в 12 кг и больше — местами по 23 кг/мм². Миноносец строится на 10—12 лет, ибо за это время он успевает настолько устареть, что не представляет более истинной боевой силы. Весь выигрыш в весе корпуса и употреблен на усиление боевого вооружения, и вы видите, что в артиллерийском бою наш миноносец разнесет вдребезги, по меньшей мере, четыре, т. е. дивизию ваших, раньше, чем они приблизятся на дальность выстрела своих пукалок». «Как это просто!» — сказал адмирал»².

¹ «Неделя» № 15, 1965, стр. 10.

² А. Н. Крылов. **Воспоминания и очерки.** Воениздат, 1949, стр. 249.

Искусство конструктора во многом зависит от умения определить, что надо выиграть и чем можно за это поступиться. Изобретательское творчество состоит в том, чтобы найти такой путь, при котором уступки вообще не требуется (или она непропорционально мала по сравнению с получаемым результатом).

Предположим, для ускорения погрузки-разгрузки на необорудованных аэродромах необходимо создать портативное подъемное устройство, монтируемое на тяжелых транспортных самолетах. Такую задачу вполне можно решить уже имеющимися в современной технике средствами. Основываясь на общих принципах конструирования подъемных устройств и используя, скажем, опыт создания легких автокранов, квалифицированный конструктор в состоянии спроектировать требуемое устройство. Понятно, что это увеличит в той или иной мере «мертвый» вес самолета. Выигрывая в одном, конструктор одновременно проигрывает в чем-то другом. Зачастую с этим можно смириться, и задача конструктора сводится к тому, чтобы побольше выиграть и поменьше проиграть.

Необходимость в изобретении возникает в тех случаях, когда задача содержит дополнительное требование: выиграть и... ничего не проиграть. Например, подъемное устройство должно быть достаточно мощным и в то же время не должно утяжелять самолет. Решить эту задачу известными приемами невозможно: даже лучшие передвижные краны имеют немалый вес. Здесь нужен новый подход, нужно изобретение.

Таким образом, обычная задача переходит в разряд изобретательских в тех случаях, когда необходимым условием ее решения является устранение технического противоречия.

Нетрудно создать новую машину, игнорируя технические противоречия. Но тогда машина окажется неработоспособной и нежизненной.

* * *

Всегда ли изобретение состоит в устранении технического противоречия?

Надо сказать, что существуют два понятия «изобретение» — правовое (патентное) и техническое. Правовое понятие различно в разных странах, к тому же оно часто меняется.

Правовое понятие стремится возможно точнее отразить границы, в которых в данный момент экономически целесообразна юридическая защита новых инженерных конструкций. Для технического же понятия важны не столько эти границы, сколько сердцевина изобретения, его исторически устойчивая сущность.

С точки зрения инженера, создание нового изобретения всегда сводится к преодолению (полному или частичному) технического противоречия.

Возникновение и преодоление противоречия — одна из главных особенностей технического прогресса. Анализируя развитие мельниц, Маркс писал в «Капитале»: «Увеличение размеров рабочей машины и количества ее одновременно действующих орудий требует более крупного двигательного механизма... Уже в XVIII веке была сделана попытка приводить в движение два бегуна и два же постава посредством одного водяного колеса. Но увеличение размеров передаточного механизма вступило в конфликт с недостаточной силой воды...»

Это яркий пример технического противоречия: попытка улучшить какое-либо свойство машины вступает в конфликт с другим ее свойством.

Многочисленные примеры технических противоречий приводит Фридрих Энгельс в статье «История винтовки». В сущности, вся эта статья представляет собой анализ внутренних противоречий, определяющих историческое развитие винтовки. Энгельс показывает, например, что с момента появления винтовки и до изобретения винтовок, заряжающихся с казенной части, главное противоречие состояло в том, что для усиления огневых свойств требовалось укорачивание ствола (заряжение производилось со ствола и при коротком стволе облегчалось), а для усиления «штыковых» свойств винтовки нужно было, наоборот, удлинять ствол. Эти противоречивые качества были соединены в винтовке, заряжающейся с казенной части ¹.

Вот несколько задач из разных отраслей техники, содержащих технические противоречия. Задачи эти не придуманы автором, а взяты из газет, журналов, книг.

¹ См. Ф. Энгельс. История винтовки. «История техники», вып. 5, 1936, стр. 18.

Горное дело

С давних пор для изоляции района подземного пожара шахтеры возводят перемычки — специальные стенки из кирпича, бетона или брусчатки. Сооружение перемычек сильно осложняется, если в шахте выделяются газы. В таком случае перемычку нужно делать герметичной, тщательно заделывать каждую щелку, и все это под постоянной угрозой взрыва. Чтобы уберечься, горняки стали сооружать по две перемычки. Первую — временную — кладут наспех. Она пропускает воздух и служит лишь баррикадой, под прикрытием которой можно, уже не торопясь, соорудить вторую, постоянную. Таким образом, горняки выиграли в безопасности, но проиграли в трудоемкости.

Химическая технология

При повышении давления скорость синтеза увеличивается и, следовательно, растет производительность колонны синтеза. Но одновременно увеличивается расход энергии на сжатие данного количества газа: по конструктивным соображениям приходится ограничивать размеры аппаратов и, следовательно, их мощность. Увеличиваются растворимость азотоводородной смеси в жидком аммиаке и ее потери.

Электроника

Современная электроника столкнулась с серьезной дилеммой: с одной стороны, непрерывно повышаются требования к рабочим характеристикам и, соответственно, усложняются электронные системы; с другой стороны, все более ужесточаются ограничения габаритов, веса и потребляемой мощности... Такое же, а может быть, и большее значение имеют проблемы надежности, вызванные возросшей сложностью аппаратуры.

Радиотехника

У антенны радиотелескопа есть две основные характеристики — чувствительность и разрешающая способность. Чем больше площадь антенны, тем выше чувствительность телескопа и тем дальше он может заглянуть в глубины Вселенной. Разрешающая способность — это «острота зрения» телескопа. Она показывает, насколько хорошо аппарат различает два разных источника излу-

чения, находящихся на небольшом угловом расстоянии друг от друга. Кроме того, большой «радиоглаз» должен охватывать своим взглядом возможно большую часть неба. Для этого антенна должна быть подвижной. Но перемещать громоздкую антенну, сохраняя ее форму неизменной с точностью до миллиметров, очень трудно.

Пока не разрешено это противоречие, конструирование телескопов идет по двум направлениям: либо строятся очень большие, но неподвижные антенны, либо подвижные и относительно небольшие.

Моторостроение

Механизм клапанного газораспределения состоит в основном из деталей, движущихся возвратно-поступательно. Увеличить число оборотов двигателя — значит увеличить инерционные нагрузки. Чтобы этого избежать, стараются уменьшить массу возвратно-движущихся деталей, для чего клапанный механизм помещают непосредственно в блоке цилиндров. Но камера сгорания при этом становится сплюсненной, щелевидной, с большой поверхностью теплоотдачи. В этом одно из противоречий: увеличение числа оборотов при нижнем расположении клапанов приводит к увеличению мощности и экономичности, щелевидная же камера сводит весь выигрыш на нет.

Сельскохозяйственное машиностроение

Есть такое понятие — мощность на крюке». Это та часть мощности тракторного двигателя, которая может фактически выполнять полезную работу. Показатель этой мощности для данного трактора зависит в первую очередь от сцепных свойств его движителей (колес или гусениц) и от сцепного веса машины. Мощная, но легкая машина при больших нагрузках буксует, поэтому для выполнения полезной работы может быть использована лишь небольшая часть мощности тракторного двигателя. Тяжелые тракторы лучше сцепляются с почвой, но значительная часть энергии их двигателя тратится на перемещение собственного веса по полю... Конструкторы облегчают машину и повышают ее мощность. А в процессе эксплуатации начинается движение в обратную сторону, так как снижение веса означает ухудшение сцепных свойств, то есть уменьшение эффективной мощности на

крюке. Вот и приходится на месте утяжелять машину — ставить на колеса чугунные диски, делать уширители на гусеницах и колесах, сводя на нет достижения конструкторов.

Автомобилестроение

Стоит увеличить мощность двигателя, не применив каких-то новых конструктивных решений, увеличатся его вес и расход топлива. Значит, и несущая система (рама, кузов) автомобиля должна быть более мощной, тяжелой, а места для пассажиров остается меньше.

Мягкие шины обеспечивают спокойствие хода, автомобиль плывет по неровной дороге, как челн. Но чем меньше давление в шинах, тем больше сопротивление дороги, тем меньше скорость. Можно сделать автомобиль, который будет низким и устойчивым, но он не пройдет по плохой дороге. Конструктор находит золотую середину, взвешивает, каким из качеств автомобиля можно пренебречь, а какое — выдвинуть на первый план¹.

Судостроение

При проектировании корпуса яхты необходимо учитывать три основных требования: 1) минимальное сопротивление формы корпуса, 2) минимальное сопротивление трения, 3) максимальная остойчивость.

Эти требования взаимно противоречивы. Узкая, длинная яхта имеет малое сопротивление формы, но она мало-остойчивая, не может нести достаточно большой парусности. Повышение остойчивости путем увеличения веса балласта сопровождается одновременным увеличением осадки и, следовательно, увеличением сопротивления трения. Увеличение остойчивости путем увеличения ширины корпуса вызывает увеличение сопротивления формы корпуса. Задача конструктора состоит в отыскании «золотой середины», в примирении противоречивых условий конструирования².

Самолетостроение

У главного конструктора рождается идея. Ну, скажем, нужен самолет для перевозки крупногабаритных и тяже-

¹ См. Ю. Долматовский. Мне нужен автомобиль. М., «Молодая гвардия», 1967, стр. 256.

² См. Ч. Мархай. Теории плавания под парусами. М., «Физкультура и спорт», 1963, стр. 43.

лых грузов; необходимо обеспечить удобство и быстроту погрузки. Для этой цели требуется, чтобы фюзеляж, вместительный и обтекаемый, на стоянке был как можно ближе к земле, значит, необходимо низкое шасси, его легче убрать в фюзеляж.

Вес полезной нагрузки определяет вес конструкции, и все вместе — мощность и число двигателей. Если двигатели турбовинтовые, их устанавливают на крыле, и крыло должно быть поднято так, чтобы пропеллеры не задевали за бетон. Еще деталь ясна: крыло нужно положить сверху фюзеляжа.

Это только первый шаг проекта. Множество различных требований постепенно уточняют «лицо» будущего самолета. Необходимость хороших взлетных и посадочных свойств на грунтовых аэродромах ведет к применению объемных пневматиков с низким давлением, прямого крыла с мощной аэродинамической механизацией.

В этом случае, правда, не может быть получена очень большая скорость, но в угоду другим важным качествам конструктору приходится искать разумный компромисс¹.

* * *

По положению изобретение должно обладать «существенной новизной». Но что означает слово «существенная»? В «Указаниях по методике экспертизы заявок на изобретения» сказано так: «Существенная новизна в решении технической задачи характеризуется тем, что это решение имеет новые, не известные ранее признаки, сообщающие объекту изобретения (устройству, способу, веществу) новые свойства, создающие положительный эффект». С незначительными вариациями такое определение применяется уже десятки лет и приводит к бесчисленным спорам по заявкам. Новизна, говорится в определении, это наличие новых свойств. Но что считать новыми свойствами? На этот счет нет точных указаний.

И получается: новизна — это, когда есть новизна...

На практике «существенная новизна» неизбежно сводится к понятию «существенное изменение» (по сравнению с прототипом) и далее к понятию «значительное из-

¹ И. Шелест. С крыла на крыло. М., «Молодая гвардия», 1969, стр. 479—480.

менение». Много изменил — есть изобретение, мало изменил — нет изобретения. Причем «много» или «мало» определяется в конечном счете личным мнением эксперта.

Между тем существует объективный критерий: изобретение — это устранение технического противоречия. Используя этот критерий, можно в значительной мере объективизировать экспертизу заявок.

Обратимся к конкретному примеру.

В журнале «Изобретатель и рационализатор» была опубликована статья эксперта Е. Немировского «Что такое изобретение?». В ней автор привел эпизод из личной практики.

Два инженера разработали конструкцию самонаклада для подачи в машину переплетных крышек. «Рассматривая эту заявку, — пишет эксперт, — я вспомнил о таком же примерно устройстве, имеющемся в одном из немецких патентов. Единственное различие состоит в том, что наши изобретатели установили стенки stapельной коробки на расстояние, меньшее длины переплетной крышки... Я счел это отличие несущественным и подготовил проект решения об отказе в выдаче авторского свидетельства».

Здесь все характерно. Это классический пример метода сравнения. Эксперта не интересует, зачем сделаны изменения, какие при этом получаются результаты. Нет, действует принцип формального сравнения. Эксперт отыскивает прототип. Изменение кажется ему несущественным: подумаешь, изменили какую-то длину стенки! А несущественное, незначительное изменение означает, по мнению эксперта, отсутствие существенной новизны. И он спокойно пишет проект отказа.

Но метод сравнения на этот раз дал явную осечку. Е. Немировский рассказывает: «Однако наши изобретатели разъяснили, что боковые упоры, описанные в немецком патенте, должны быть весьма жесткими, чтобы устранить прогибание стопы. С другой стороны, если упоры окажутся слишком жесткими, присосы не смогут вытащить крышку из коробки. Это противоречие делало самонаклад неработоспособным. Стоило лишь изменить расстояние между стенками, как они начали воспринимать вес крышек... новое соотношение размеров, принятое московскими изобретателями, позволило неработоспособное устройство сделать работоспособным. Я признал, что ошибся. Изобретателям выдали авторское свидетельство».

ство». Здесь, в самом конце статьи, Немировский произнес то слово, с которого следовало бы начать: «противоречие». Оказывается, дело не в значительности или незначительности внесенного изменения, а в том, что было техническое противоречие и изобретение позволило его устранить.

Еще один пример.

Ленинградские инженеры Л. Гинзбург и Я. Перский послали заявку на ламповый блок с тороидальным трансформатором. «Вам удалось создать очень хорошую конструкцию,— ответил эксперт,— но в ней нет элементов существенной новизны». В Ленинградском областном совете ВОИР рассмотрели заявку и... нашли существенную новизну. Вот в чем она состояла:

«При конструировании лампового блока, в котором объединены лампа высокого напряжения (вентиль) и питающий эту лампу трансформатор накала, необходимо изолировать ламповые гнезда и другие точки вентиля, находящиеся под высоким напряжением, от окружающих предметов иного потенциала, в том числе и от трансформатора накала. До сих пор повсеместно практика конструирования шла по пути создания достаточно большого разрядного расстояния между ламповыми гнездами и корпусом трансформатора. Для этого приходилось устанавливать между трансформатором и вентилем длинный изолятор с высоковольтным монтажом. Между тем при конструировании аппаратуры важно не увеличивать, а сокращать габариты.

И вот инженеры Л. Гинзбург и Я. Перский предложили несколько увеличить окно тороидального трансформатора накала и внутрь этого окна поместить ламповые гнезда и другие точки высокого потенциала (сопротивление «сетка» — «катод» и высоковольтный вывод), залив это компаундом. Остроумное решение позволило отказаться от изолятора и внешнего высоковольтного монтажа. Но самое важное в другом: общие габариты блока сократились, и при таком принципе конструирования их уже не нужно расширять по мере увеличения напряжения вентиля»¹.

Спор с экспертизой закончился так: «Было доказано, что авторам удалось преодолеть отмеченное выше проти-

¹ «Изобретатель и рационализатор», 1961, № 8, стр. 26.

воречие и решить задачу именно потому, что в их конструкции трансформатор накала выполняет роль не только трансформатора, но и изолятора высоковольтных точек вентиля. Использование трансформатора в качестве изолятора и является новизной конструкции». Изобретатели получили авторское свидетельство.

Если изобретатели научатся видеть в изобретениях устранение технических противоречий, а эксперты научатся находить в заявках способы устранения таких противоречий, количество отклоненных заявок намного сократится.

* * *

Иногда техническое противоречие, содержащееся в задаче, отчетливо видно. Таковы, например, задачи, решение которых обычными путями наталкивается на недопустимое увеличение веса. Иногда противоречие незаметно, оно как бы растворено в условиях задачи. Тем не менее изобретатель всегда должен помнить о техническом противоречии, которое ему предстоит побороть.

«Надо добиться такого-то результата», — это лишь половина задачи; изобретателю необходимо видеть вторую половину: «добиться, не проиграв того-то и того-то».

Анкетные опросы показывают, что опытные изобретатели хорошо видят техническое противоречие, содержащееся в задаче. Так, П. Фридман (Ленинград), имеющий более двадцати авторских свидетельств на изобретения, пишет: «Изучаю трудности и противоречия существующих машин, аппаратов и систем». Каунасский изобретатель Ю. Чепеле очень точно характеризует эту важнейшую особенность изобретательского мастерства: «Надо найти в задаче техническое противоречие, затем использовать подсказываемые опытом и знаниями способы устранения противоречия».

Известный советский изобретатель Б. Блинов, подводя итоги своей тридцатилетней изобретательской работы, пишет: «На основании опыта говорю: вы не станете изобретателем, если не научитесь отчетливо видеть противоречия в вещах»¹.

У изобретателя Ю. Чиниова было девять авторских

¹ Б. Блинов. Загадочный импульс. М., «Молодая гвардия», 1969, стр. 163.

свидетельств; освоив методику изобретательства, Ю. Чиннов получил еще три десятка авторских свидетельств, решив ряд задач, считавшихся неразрешимыми. Один из главных инструментов Ю. Чиннова — анализ технических противоречий. Когда Ю. Чиннову поручили спроектировать высокопроизводительную машину для кручения телефонных кабелей, он прежде всего вскрыл содержащееся в задаче техническое противоречие:

«При проектировании машины выяснилось, что повышению ее производительности препятствует сила натяжения нитей (проводов), которая возникает от трения нитей во время их движения о стенки крутильной рамки и приводит к недопустимому растяжению нитей (проводов). С увеличением скорости вращения рамки и ее диаметра увеличивается центробежная сила, прижимающая нити к рамке, а следовательно, и сила трения нитей.

Получается заколдованный круг:

С увеличением диаметра и скорости вращения крутильной рамки недопустимо увеличивается центробежная сила, которая приводит в конечном счете к растяжению нитей. С другой стороны, уменьшая диаметр крутильной рамки, можно повысить скорость кручения, но тогда недопустимо уменьшается диаметр приемной катушки, установленной внутри рамки, и, следовательно, длина изготавливаемого кабеля.

Явное техническое противоречие!»¹

В изобретательской практике нередки случаи, когда главное — обнаружить техническое противоречие, а коль скоро оно обнаружено, преодолеть его не представляет труда. Бывает, однако, и так, что ясно видимое техническое противоречие отпугивает изобретателя: нужно совместить несовместимое, а это кажется невозможным!

«Нужно найти способ кручения кабеля на проход,— рассказывает далее Ю. Чиннов,— то есть вынести приемную катушку из вращающейся рамки и закрепить ее на неподвижном основании вне рамки. Такую катушку можно сделать неограниченного диаметра, а кабель — неограниченной длины, и, кроме того, увеличить скорость кручения.

¹ Ю. Чиннов. Надо крутить и нельзя крутить... Сб. «Материалы к семинару по методике изобретательства». Минск, Изд-во Института тепло- и массообмена АН Белорусской ССР, 1971, стр. 44—45

Начальник КБ новой техники Ташкентского кабельного завода предупредил меня, что в этом направлении очень много поработали изобретатели и конструкторы. В конце концов они пришли к выводу, что изобрести способ кручения на проход так же невозможно, как и изобрести вечный двигатель.

Однако я не отказался от мысли справиться с этой задачей. Решил действовать по методике изобретательства...»

Не бойтесь технических противоречий!

Вот одна из простых задач. Решите ее самостоятельно; для этого достаточно четко сформулировать техническое противоречие.

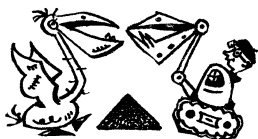
Задача 3

«При взгляде на гоночный автомобиль сразу бросаются в глаза колеса. Они придают машине свирепый вид. А между тем они создают добавочное сопротивление воздуха, снижают максимальную скорость. Даже у обычных легковых автомобилей колеса закрыты обтекаемым капотом. Так почему же колеса гоночных машин не закрыты обтекателями?

На виражах гонщик все время следит за передними колесами. Увидев их положение, он получает первую информацию о направлении движения машины. Теперь предположим, что колеса закрыты крыльями. Повернув руль, гонщик должен смотреть, как пойдет машина, и вмешаться в управление после того, как автомобиль заметно отклонится от намеченного пути. Вот почему автомобили для шоссейных гонок делают без крыльев. Другое дело автомобили, предназначенные для гонок на специально оборудованных треках. Там не нужна поворотливость. И машины закапотированы»¹.

Чтобы решить эту задачу, надо точно найти «несовместимое» и ответить на вопрос: где и что придется изменить для устранения «несовместимости»? Задача относится к гоночным автомобилям. Значит, решение может и не быть рассчитано на массовое и длительное применение.

¹ «Наука и жизнь», 1963, № 2, стр. 57.



ДИАЛЕКТИКА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Даже формальная логика представляет прежде всего метод для отыскания новых результатов, для перехода от известного к неизвестному; то же самое, только в гораздо более высоком смысле, представляет собой диалектика.

Ф. Энгельс

ШАГ ЗА ШАГОМ

Используя понятия об идеальной машине и технических противоречиях, можно существенно упорядочить процесс решения изобретательской задачи. Идеальная машина помогает определить направление поисков, а техническое противоречие, присущее данной задаче, указывает на препятствие, которое предстоит преодолеть. Однако противоречие подчас бывает довольно хитро спрятано в условиях задачи. К тому же обнаруженное противоречие не исчезает само по себе, приходится изыскивать способы его устранения. Далеко не всегда удается одним броском преодолеть путь от постановки задачи до ее решения. Нужна рациональная тактика, позволяющая шаг за шагом продвигаться к решению задачи. Такую тактику дает **алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ)**.

В следующих главах, углубляя изучение, мы детально рассмотрим отдельные «узлы» алгоритма и на конкретных примерах покажем, как они работают, а пока дадим общий обзор АРИЗ.

Термин «алгоритм», вообще говоря, имеет довольно расплывчатые границы. В математике под алгоритмом подразумевается строго регламентированная совокупность и порядок операций, необходимых для решения той или иной задачи. Математическим алгоритмом являются, например, действия, которые надо последовательно совершить, чтобы извлечь квадратный корень из целого положительного числа. Такие алгоритмы характеризуются жесткостью: каждая операция определена совершенно точно и не зависит ни от изменения условий задачи, ни от личности человека, решающего задачу.

В широком смысле слова алгоритмом называют всякую программу планомерно направленных действий. Программа решения изобретательских задач названа алгоритмом именно в этом смысле.

АРИЗ обладает гибкостью: одна и та же задача может быть решена разными путями — в зависимости от того, кто и как ее решает. АРИЗ не игнорирует личность человека, который им пользуется. Напротив, АРИЗ стимулирует максимальное использование особенно сильных качеств данного изобретателя. Поэтому путь от задачи до решения может быть пройден по-разному, изобретатель совершает действия в зависимости от знаний, опыта, способностей. Алгоритм лишь избавляет от заведомо неверных шагов.

Более того, используя АРИЗ, разные изобретатели могут прийти к разным решениям одной и той же задачи. АРИЗ построен так, чтобы выводить данного изобретателя на наиболее сильные для него решения данной задачи.

Как и всякий инструмент, АРИЗ дает результаты, во многом зависящие от умения пользоваться им. Не следует думать, что, прочитав текст алгоритма, можно сразу решать любые задачи. Прочитав описание приемов самбо, не стоит сразу выходить на соревнования. Так и с АРИЗ: единоборство с задачей требует практических навыков. Мы будем вырабатывать эти навыки на учебных задачах.

* * * *

Если схематически представить двадцатипятилетнюю работу по созданию и совершенствованию АРИЗ, получится довольно длинная цепочка: первый вариант — проверка на практике — корректировка — второй вариант — проверка на практике — корректировка — третий вариант — ... и т. д.

Уже АРИЗ-59 (т. е. алгоритм, опубликованный в 1959 году) успешно применялся рядом изобретателей. Затем появились АРИЗ-61, АРИЗ-64 и АРИЗ-65. В них был учтен опыт ряда семинаров, в ходе которых алгоритм использовался для решения самых разнообразных изобретательских задач. АРИЗ-64 и особенно АРИЗ-65 годились для решения многих задач, встречающихся в изобретательской практике. Тем временем совершенствование алгоритма продолжалось и в результате был разработан АРИЗ-68, изложенный в первом издании этой книги.

Мы рассмотрим два варианта алгоритма — АРИЗ-61 и АРИЗ-71. Это позволит читателю увидеть, в каком на-

правлении идет развитие алгоритма и, следовательно, представить, каким примерно будет алгоритм через пять или десять лет.

АРИЗ-61 делит творческий процесс на три стадии: аналитическая;

оперативная (устранение технического противоречия);

синтетическая (внесение дополнительных изменений).

Каждая стадия подразделяется на ряд последовательно осуществляемых шагов. Таким образом, одно сложное (и потому очень трудное) действие алгоритм разбивает на ряд частичных, более легких действий. Выглядит это так.

А Р И З - 61

1. Аналитическая стадия

Первый шаг. Поставить задачу.

Второй шаг. Представить себе идеальный конечный результат.

Третий шаг. Определить, что мешает достижению этого результата (т. е. найти противоречие).

Четвертый шаг. Определить, почему мешает (найти причину противоречия).

Пятый шаг. Определить, при каких условиях не мешало бы (т. е. найти условия, при которых противоречие снимается).

2. Оперативная стадия

Первый шаг. Проверка возможности изменений в самом объекте (т. е. в данной машине, данном технологическом процессе).

1. Изменение размеров.

2. Изменение формы.

3. Изменение материала.

4. Изменение температуры.

5. Изменение давления.

6. Изменение скорости.

7. Изменение окраски.

8. Изменение взаимного расположения частей.

9. Изменение режима работы частей с целью максимальной их нагрузки.

Второй шаг. Проверка возможности разделения объекта на независимые части.

1. Выделение «слабой» части.
2. Выделение «необходимой и достаточной» части.
3. Разделение объекта на одинаковые части.

Третий шаг. Проверка возможности изменений во внешней (для данного объекта) среде.

1. Изменение параметров среды.
2. Замена среды.
3. Разделение среды на несколько частичных сред.
4. Использование свойств внешней среды для выполнения полезных функций.

Четвертый шаг. Проверка возможности изменений в соседних (т. е. работающих совместно с данным) объектах.

1. Установление взаимосвязи между независимыми объектами, участвующими в выполнении одной работы.

2. Устранение одного объекта за счет передачи его функций другому объекту.

3. Увеличение числа объектов, одновременно действующих на ограниченной площади, за счет использования свободной обратной стороны этой площади.

Пятый шаг. Исследование прообразов из других отраслей техники (поставить вопрос: как данное противоречие устраняется в других отраслях техники?).

Шестой шаг. Возвращение (в случае непригодности всех рассмотренных приемов) к исходной задаче и расширение ее условий, т. е. переход к другой, более общей задаче.

3. Синтетическая стадия

Первый шаг. Внесение изменений в форму данного объекта (новой сущности машины должна соответствовать новая форма).

Второй шаг. Внесение изменений в другие объекты, связанные с данным.

Третий шаг. Внесение изменений в методы использования объекта.

Четвертый шаг. Проверка применимости найденного принципа изобретения к решению других технических задач.

* * *

В 1949 году Министерство угольной промышленности объявило всесоюзный открытый конкурс на создание ходоидльного костюма для горноспасателей, занимающихся

спасением людей, оставшихся в шахтах при подземных пожарах. Задача была исключительно трудной, на первый взгляд вообще неразрешимой.

Проследим ход решения этой задачи с помощью АРИЗ-61.

Задача 4

Подземные пожары сопровождаются выделением ядовитого газа — окиси углерода, поэтому горноспасатели вынуждены применять кислородные аппараты. Работают эти аппараты по так называемой замкнутой схеме: кислород, хранящийся под давлением, постепенно подается в дыхательный мешок, а оттуда — в маску; выдыхаемые газы (они содержат много неиспользованного кислорода) очищаются в специальном патроне и снова идут в дыхательный мешок.

Такая система значительно экономичнее открытой (принятой, например, в аквалангах), при которой выдох производится наружу. И все же эта система далеко не совершенна. Кислородный аппарат довольно тяжел — он весит свыше 12 кг, а главное — он не защищает от высокой температуры. Между тем воздух в горящих горных выработках быстро нагревается до 100°С и выше.

При тяжелой физической работе организм человека выделяет тепла около 400 ккал в час. И отвести эти калории некуда — температура окружающей среды выше температуры тела. Не помогает и интенсивное выделение пота: при подземных пожарах влажность воздуха такова, что пот не испаряется, а стекает по телу. А тут еще извне идет мощный поток тепла — при температуре 100°С более 300 ккал в час. Таким образом, за два часа работы нужно отвести примерно 1400 ккал!

Главная трудность создания холодильного костюма заключается в том, что он должен мало весить — на горноспасателя можно нагрузить не более 28 кг, иначе он не сможет работать. Из этих 28 кг на долю кислородного аппарата приходится 12 кг, на долю инструментов — 7 кг. Остается всего 9 кг. Если бы даже весь аппарат состоял из холодильного вещества (а ведь и сама конструкция должна что-то весить!), то и в этом случае запас холодильной мощности был бы недостаточен для двухчасовой работы (этот срок указывался в условиях конкурса). Лед, сухой лед, фреон, сжиженные газы... Ни

одно холодильное вещество не укладывается в жесткие весовые рамки.

Возьмем, например, лед. Это очень мощное холодильное вещество. Чтобы расплавить 1 кг льда, нужно затратить 80 ккал. А для нагревания образовавшейся воды до 35°C — еще 35 ккал. Таким образом, один килограмм льда дает возможность отвести от человека 115 ккал. А у нас этих калорий 1400, значит, потребуется 12 кг льда. Если учесть вес костюма и холодильного устройства (ведь холод надо распределять и регулировать!), получится, что нужен запас веса никак не меньше 15—20 кг.

Решение задачи 4

Логические операции	Ход размышлений при решении задачи
---------------------	------------------------------------

Аналитическая стадия

Первый шаг

Поставить задачу в об-
щем виде.

Создать холодильный
аппарат.

Второй шаг

Представить себе иде-
альный конечный резуль-
тат.

Максимальная холо-
дильная мощность.

Третий шаг

Что этому мешает?

Большой вес необходи-
мого (запасаемого) холо-
дильного вещества.

Четвертый шаг

Почему?

Потому что вес аппара-
та ограничен. Из 28 кг до-
пустимой для горноспаса-
теля нагрузки на долю
холодильного аппарата
приходится только 9 кг.

Пятый шаг

При каких условиях не будет мешать?

Если на долю холодильного аппарата будет приходиться не 9 кг, а больше — 15 или 20 кг.

Вывод: надо снизить вес кислородного аппарата и инструментов.

Оперативная стадия

Первый шаг

Проверить изменения в самом объекте, в частности возможность его разделения.

«Самим объектом» теперь являются кислородный аппарат и инструменты, вес которых надо уменьшить. Путь этот чрезвычайно затруднителен, ибо инструменты и кислородный аппарат совершенствовались годами. Конструкторы боролись буквально за каждый грамм... Нет, здесь мы многого не добьемся...

Второй шаг

Проверить возможность изменения в среде.

Внешняя среда — шахтный воздух. Конечно, если бы этот воздух был чист, можно было бы отказаться от кислородного аппарата. Но шахтный воздух во время пожара не очистись.

Третий шаг

Проверить возможность изменения в соседних объектах.

Соседним объектом для кислородного аппарата и инструментов является третья составная часть нагрузки на горноспасателя — искомый холодильник

ный аппарат. Заставить его одновременно давать кислород? Для этого нужно взять в качестве холодильного вещества не лед, не сухой лед, а жидкий кислород. Черт побери, кажется, это возможно. Правда, жидкий кислород менее мощное холодильное вещество, чем, например, жидкий аммиак, но зато мы сможем взять его много, чуть ли не 15 кг!

Итог Намечается идея: вместо двух аппаратов — кислородного и холодильного — иметь один. В этом аппарате будет использоваться жидкий кислород. Испарение и нагревание кислорода обеспечат охлаждающее действие; нагретый до нормальной температуры кислород пойдет на дыхание. Весить такой прибор может $12 + 9 = 21$ кг.

Синтетическая стадия

Первый шаг

Придание новой формы.

Новой сущностью нашего аппарата является работа на сжиженном кислороде. Кислорода много. А раньше в кислородном аппарате его было мало и приходилось для экономии применять круговой цикл — выдыхаемый кислород шел на очистку в патрон с известью и снова на дыхание. Те-

1 Логические операции	Ход размышлений при решении задачи
-----------------------	------------------------------------

перь можно отказаться от сложного и громоздкого кругового цикла. Комплексный аппарат окажется проще и дешевле, чем каждый из соединяемых аппаратов!

Второй шаг

Изменения в других объектах.

Единственный «другой объект» — инструменты. Дать и им дополнительную нагрузку? Вряд ли это возможно.

Третий шаг

Изменения в методе использования.

Подумаем, чем будет отличаться наш аппарат в использовании. Кислород быстро испаряется... Значит, вес аппарата будет быстро уменьшаться: из 21 кг на кислород приходится 15 кг. К концу работы аппарат будет весить всего 6 кг. А утомляемость зависит от среднего веса. Значит, можно сначала основательно перегрузить аппарат, брать побольше кислорода.

Четвертый шаг

Применимость найденного принципа к решению других задач.

Где можно применить совмещение двух совместно работающих аппаратов? Помнится, аналогичная задача была в сварочной технике, где приме-

Логические операции	Ход размышлений при решении задачи
---------------------	------------------------------------

няют переносные бензобачки и кислородные аппараты.

Общий итог: комплексный холодильный аппарат на жидком кислороде, некруговая схема питания кислородом, начальная перегрузка для увеличения мощности.

Были разработаны (мною совместно с инженером Р. Шапиро) два варианта комплексного холодильно-дыхательного аппарата. Оба проекта получили на конкурсе высшие премии — первую и вторую. Основной принцип — объединение холодильного и дыхательного аппаратов — лег в основу современных газотеплозащитных костюмов, впервые в мире созданных в Советском Союзе.

«Аппарат для индивидуальной газотепловой защиты, — сказано в авторском свидетельстве № 111144, — состоящий из герметизированного комбинезона, шлема, соединительного кольца, дыхательного мешка, маски и размещенного в подкостюмном пространстве резервуара жидкого кислорода, отличающийся тем, что для устранения необходимости в специальных респираторах отработанный в холодильной системе газ используется для дыхания».

На рис. 6 видно, как устроен газотеплозащитный костюм. Жидкий кислород размещен в ранцевом резервуаре 1. Испаряясь, кислород поступает в инжектор 2, расположенный по оси сквозного канала 3. Вытекая из инжектора, кислород смешивается с теплым воздухом подкостюмного пространства и охлаждает его.

В резервуар может быть залито 15—16 кг жидкого кислорода; это обеспечивает 2000—2200 ккал теплоотвода. Начальный вес скафандра при этом составляет 20—22 кг. Если же повысить начальный вес до 30—35 кг, запас кислорода можно увеличить в полтора раза. В таком скафандре не страшно войти и в раскаленную печь...

* * *

Познакомимся теперь с новым вариантом алгоритма.

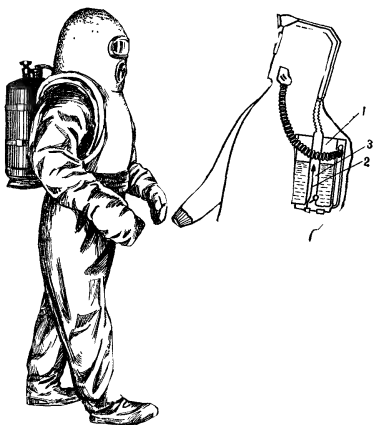


Рис. 6. Газотеплозащитный костюм для горноспасателей, впервые созданный в Советском Союзе.

АРИЗ-71

Часть 1. Выбор задачи

1—1. Первый шаг. Определить конечную цель решения задачи.

а) Какова техническая цель решения задачи («Какую характеристику объекта надо изменить?»).

б) Какие характеристики объекта заведомо нельзя менять при решении задачи?

в) Какова экономическая цель решения задачи («Какие расходы снизятся, если задача будет решена?»).

г) Каковы (примерно) допустимые затраты?

д) Какой главный технико-экономический показатель надо улучшить?

1—2. Второй шаг. Проверить обходной путь. Допустим, задача принципиально нерешима; какую другую — более общую — задачу надо решить, чтобы получить требуемый конечный результат?

1—3. Третий шаг. Определить, решение какой задачи целесообразнее — первоначальной или обходной.

а) Сравнить первоначальную задачу с тенденциями развития данной отрасли техники.

б) Сравнить первоначальную задачу с тенденциями развития ведущей отрасли техники.

в) Сравнить обходную задачу с тенденциями развития данной отрасли техники.

г) Сравнить обходную задачу с тенденциями развития ведущей отрасли техники.

д) Сопоставить первоначальную задачу с обходной. Произвести выбор.

1—4. Четвертый шаг. Определить требуемые количественные показатели.

1—5. Пятый шаг. Внести в требуемые количественные показатели «поправку на время».

1—6. Шестой шаг. Уточнить требования, вызванные конкретными условиями, в которых предполагается реализация изобретения.

а) Учесть особенности внедрения. В частности, допускаемую степень сложности решения.

б) Учесть предполагаемые масштабы применения.

Часть 2. Уточнение условий задачи

2—1. Первый шаг. Уточнить задачу, используя патентную литературу.

а) Как (по патентным данным) решаются задачи, близкие к данной?

б) Как решаются задачи, похожие на данную, в ведущей отрасли техники?

в) Как решаются задачи, обратные данной?

2—2. Второй шаг. Применить оператор РВС.

а) Мысленно меняем размеры объекта от заданной величины до нуля ($P \rightarrow 0$). Как теперь решается задача?

б) Мысленно меняем размеры объекта от заданной

величины до бесконечности ($P \rightarrow \infty$). Как теперь решается задача?

в) Мысленно меняем время процесса (или скорость движения объекта) от заданной величины до нуля ($V \rightarrow 0$). Как теперь решается задача?

г) Мысленно меняем время процесса (или скорость движения объекта) от заданной величины до бесконечности ($V \rightarrow \infty$). Как теперь решается задача?

д) Мысленно меняем стоимость (допустимые затраты) объекта или процесса от заданной величины до нуля ($C \rightarrow 0$). Как теперь решается задача?

е) Мысленно меняем стоимость (допустимые затраты) объекта или процесса от заданной величины до бесконечности ($C \rightarrow \infty$). Как теперь решается задача?

2—3. Третий шаг. Изложить условия задачи (не используя специальные термины и не указывая, что именно нужно придумать, найти, создать) в двух фразах по следующей форме:

а) Дана система из (указать элементы).

б) Элемент (указать) при условии (указать) дает нежелательный эффект (указать).

Пример. Дан трубопровод с задвижкой; по трубопроводу движется вода с частицами железной руды. Частицы руды при движении истирают задвижку.

2—4. Четвертый шаг. Переписать элементы из 2—3а в виде следующей таблицы:

а) Элементы, которые можно менять, переделывать, переналаживать (в условиях данной задачи).	
б) Элементы, которые трудно видоизменять (в условиях данной задачи).	

Пример. Трубопровод и задвижка — «а»; вода и частицы руды — «б».

2—5. Пятый шаг. Выбрать из 2—4а такой элемент, который в наибольшей степени поддается изменениям, переделке, переналадке.

Примечания: а) Если все элементы в 2—4а равноценны по степени допускаемых изменений, начните выбор с неподвижного элемента (обычно его легче менять, чем подвижный). б) Если в 2—4а есть элемент, непосредственно связанный с нежелательным эффектом (обычно этот элемент указывают в 2—3б), выберите его в последнюю очередь. в) Если в системе есть только элементы 2—4б, возьмите в качестве элемента **внешнюю среду**.

Пример. Выбрать надо трубопровод, так как задвижка связана с нежелательным явлением (истирается).

Часть 3. Аналитическая стадия

3—1. Первый шаг. Составить формулировку ИКР (идеального конечного результата) по следующей форме:

- а) Объект (взять элемент, выбранный в 2—5).
- б) Что делает.
- в) Как делает (на этот вопрос всегда следует ответить словами «сам», «сама», «само»).
- г) Когда делает.
- д) При каких обязательных условиях (ограничениях, требованиях и т. п.).

Пример. Трубопровод... меняет свое сечение... сам... когда надо регулировать поток... не истираясь.

3—2. Второй шаг. Сделать два рисунка: «Было» (до ИКР) и «Стало» (ИКР).

Примечания: а) Рисунки могут быть условные — лишь бы они отражали суть «Было» и «Стало». б) Рисунок «Стало» должен совпадать со словесной формулировкой ИКР.

Проверка. На рисунках должны быть все элементы, перечисленные в 2—3а. Если при шаге 2—5 выбрана внешняя среда, ее надо указать на рисунке «Стало».

3—3. Третий шаг. На рисунке «Стало» найти элемент, указанный в 3—1а, и выделить ту его часть, которая не может совершить требуемого действия при требуемых условиях. Отметить эту часть (штриховкой, другим цветом, обводкой контуров и т. п.).

Пример. В рассматриваемой задаче такой частью будет внутренняя поверхность трубопровода.

3—4. Четвертый шаг. Почему эта часть сама не может осуществить требуемое действие?

Вспомогательные вопросы

- а) Чего мы хотим от выделенной части объекта?
- б) Что мешает выделенной части самой осуществить требуемое действие?
- в) В чем несоответствие между «а» и «б»?

Пример: а) Внутренняя поверхность трубы должна сама менять сечение потока. б) Она неподвижна, не может оторваться от стенок трубы. в) Она должна быть неподвижной (как элемент жесткой трубы) и подвижной (как сжимающийся и разжимающийся элемент регулятора).

3—5. Пятый шаг. При каких условиях эта часть сможет осуществить требуемое действие (какими свойствами она должна обладать)?

Примечание. Не надо пока думать — осуществимо ли практически желательное свойство. Назовите это свойство, не беспокоясь о том, как оно будет достигнуто.

Пример. На внутренней поверхности трубы появляется какой-то слой вещества, тем самым внутренняя поверхность переносится ближе к оси трубы. При необходимости этот слой исчезает, и внутренняя поверхность отдаляется от оси трубы.

3—6. Шестой шаг. Что надо сделать, чтобы выделенная часть объекта приобрела свойства, отмеченные в 3—5?

Вспомогательные вопросы

а) Покажите на рисунке стрелками силы, которые должны быть приложены к выделенной части объекта, чтобы обеспечить желательные свойства.

б) Какими способами можно создать эти силы? (Вычеркнуть способы, нарушающие условия 3—1д.)

Пример. Наравливать на внутреннюю поверхность трубы частицы железной руды или воду (лед). Других веществ внутри трубопровода нет, этим и определяется выбор.

3—7. Седьмой шаг. Сформулировать способ, который может быть практически осуществлен. Если таких способов несколько, обозначьте их цифрами (самый перспективный — цифрой 1 и т. д.). Запишите выбранные способы.

Пример. Выполнить участок трубы из немагнитного материала и с помощью электромагнитного поля «наращивать» на внутреннюю поверхность частицы руды.

3—8. Восьмой шаг. Дать схему устройства для осуществления первого способа.

Вспомогательные вопросы

а) Каково агрегатное состояние рабочей части устройства?

б) Как меняется устройство в течение одного рабочего цикла?

в) Как меняется устройство после многих циклов?

(После решения задачи следует вернуться к шагу 3—7 и рассмотреть другие перечисленные в нем способы.)

Часть 4. Предварительная оценка найденной идеи

4—1. Первый шаг. Что улучшается и что ухудшается при использовании предлагаемого устройства или способа? Запишите, что достигается предложением и что при этом усложняется, удорожается и т. д.

4—2. Второй шаг. Можно ли видоизменением предлагаемого устройства или способа предотвратить это ухудшение? Нарисуйте схему видоизмененного устройства или способа.

4—3. Третий шаг. В чем теперь ухудшение (что усложняется, удорожается и т. д.)?

4—4. Четвертый шаг. Сопоставить выигрыш и проигрыш. а) Что больше? б) Почему?

Если выигрыш больше проигрыша (хотя бы и в перспективе), перейти к синтетической части АРИЗ.

Если проигрыш больше выигрыша, вернуться к шагу 3—1. Записать на том же листе ход повторного анализа и его результат.

4—5. Пятый шаг. Если теперь выигрыш больше, перейти к синтетической стадии АРИЗ. Если повторный анализ не дал новых результатов, вернуться к шагу 2—4, проверить таблицу. Взять в 2—5 другой элемент системы и заново провести анализ. Записать ход анализа на том же листе.

Если нет удовлетворительного решения после 4—5, перейти к следующей части АРИЗ.

Часть 5. Оперативная стадия

5—1. Первый шаг. В таблице устранения технических противоречий (см. приложение 1), выбрать в вертикальной колонке показатель, который надо улучшить по условиям задачи.

5—2. Вторым шагом.

а) Как улучшить этот показатель, используя известные пути (если не считаться с проигрышем)?

б) Какой показатель недопустимо ухудшится, если использовать известные пути?

5—3. Третий шаг. Выбрать в горизонтальном ряду таблицы показатель, соответствующий 5—2б.

5—4. Четвертый шаг. Определить по таблице приемы устранения технического противоречия (т. е. найти клетку на пересечении строки, выбранной в 5—1, и ряда 5—2б).

5—5. Пятый шаг. Проверить применимость этих приемов (о приемах рассказано в следующих главах).

Если задача решена, вернуться к четвертой части АРИЗ, оценить найденную идею и перейти к шестой части АРИЗ. Если задача не решена, проделать следующие шаги пятой части.

5—6. Шестым шагом. Проверить возможность применения физических эффектов и явлений.

5—7. Седьмым шагом. Проверить возможные изменения во времени.

Вспомогательные вопросы

а) Нельзя ли устранить противоречие, «растянув» во времени происходящее по условиям задачи действие?

б) Нельзя ли устранить противоречие, «сжав» во времени происходящее по условиям задачи действие?

в) Нельзя ли устранить противоречие, выполнив требуемое действие заранее, до начала работы объекта?

г) Нельзя ли устранить противоречие, выполнив требуемое действие после того, как объект закончит работу?

д) Если по условиям задачи действие непрерывно — проверить возможность перехода к импульсному действию.

е) Если по условиям задачи действие периодически —

проверить возможность перехода к непрерывному действию.

5—8. Восьмой шаг. Как решаются аналогичные задачи в природе?

Вспомогательные вопросы

а) Как решаются подобные задачи в неживой природе?

б) Как решались подобные задачи у вымерших или древних организмов?

в) Как решаются подобные задачи у современных организмов? Каковы в данном случае тенденции развития?

г) Какие поправки надо внести, учитывая особенности используемых техникой материалов?

5—9. Шестой шаг. Проверить возможные изменения в объектах, работающих совместно с данным.

Вспомогательные вопросы

а) В какую надсистему входит система, рассматриваемая в задаче?

б) Как решить данную задачу, если менять не систему, а надсистему?

Если задача не решена, вернуться к шагу 1—3. Если задача решена, вернуться к четвертой части АРИЗ, оценить найденную идею и перейти к шестой части АРИЗ.

Часть 6. Синтетическая стадия

6—1. Первый шаг. Определить, как должна быть изменена надсистема, в которую входит измененная система (данная по условиям задачи).

6—2. Второй шаг. Проверить, может ли измененная система применяться по-новому.

6—3. Третий шаг. Использовать найденную техническую идею (или идею, обратную найденной) при решении других технических задач.

* * *

Чем же АРИЗ-71 отличается от АРИЗ-61?

Прежде всего наличием двух стадий, «обрабатывающих» задачу (и отношение к ней изобретателя) до анализа. Это не только облегчает анализ, но и позволяет получить — на выходе аналитической стадии — более точ-

ные результаты. Новый алгоритм намного детальнее. Трудные шаги разделены в нем на «подшаги», чтобы повысить надежность решения.

Существенно изменена и оперативная стадия. Вместо отдельных приемов изобретателю предлагается система типовых приемов и таблица, показывающая, какие приемы наиболее перспективны для устранения данного противоречия.

Развитие алгоритма идет, таким образом, по двум направлениям:

полнее учитываются психологические факторы, и это делает алгоритм более гибким;

совершенствуется система поисков на всех стадиях творческого процесса, и это делает алгоритм точнее.

СПЛАВ ЛОГИКИ, ИНТУИЦИИ И ОПЫТА

Пользуясь алгоритмом, изобретатель постепенно приближается к решению. Некоторые этапы этого пути почти нацело «логизированы», иногда логика отступает на второй план, и тогда алгоритм подталкивает в нужном направлении воображение изобретателя, создает условия для проявления интуиции. Есть и такие участки пути к решению, на которых алгоритм работает за счет обобщенного изобретательского опыта.

Две первые стадии творческого процесса изобретателя посвящены выбору задачи и уточнению ее условий. Первоначальная формулировка, в какой задача попадает изобретателю, почти всегда неточна или даже ошибочна. Например, изобретателю говорят: «Нужно найти способ осуществления такой-то операции». Но, возможно, выгоднее пойти в обход, устранив необходимость в этой операции! Очень часто обходные пути оказываются перспективнее прямых.

На первой стадии творческого процесса изобретатель определяет конечную цель решения, проверяет возможность использования обходных путей, уточняет условия задачи (прямой или обходной). Очень важен пятый шаг, при котором изобретатель умышленно несколько повышает требования, содержащиеся в условиях задачи. Допустим, по условиям задачи нужно обеспечить точность контроля порядка $\pm 0,5$ микрона. Целесообразно самому ужесточить это требование и считать, что нужна точность $\pm 0,1$ микрона. Ведь за время разработки и внедрения изобретения требования к точности могут повыситься.

Анкетный опрос изобретателей и непосредственное наблюдение за их творческим процессом показывают, что в большинстве случаев изобретатель пытается решать задачу, не разобравшись достаточно внимательно в ее ус-

ловиях. После каждого неудачного наскока он возвращается к условиям задачи, уясняет какую-то одну их часть и сразу же совершает очередную пробу. Это повторяется многократно, и изобретатель нередко бросает попытки найти решение, так и не разобравшись в условиях задачи.

Алгоритм учитывает существование этой распространенной ошибки. Работая по алгоритму, изобретатель прежде всего основательно изучает задачу, шаг за шагом снимает с нее внешние, нехарактерные слои, выделяет то, что составляет ее существо.

Первая часть алгоритма представляет собой, таким образом, цепочку логических действий. Тут довольно отчетливо видна роль логики в творческом процессе.

Первоначальная формулировка задачи подобна глыбе угля: можно сколько угодно раз пытаться зажечь такую глыбу — огня не будет. Логика дробит глыбу; чем мельче уголь, тем легче его зажечь. На какой-то стадии дробления появляется даже возможность самовозгорания угля.

Вторая часть алгоритма внешне тоже похожа на серию логических действий. Изобретатель продолжает работать по четкой программе: задаются конкретные вопросы, требующие столь же конкретных ответов. Тем самым сохраняется приобретенная ранее организованность, направленность мышления. Но АРИЗ не программа для машины. Алгоритм рассчитан на человека, он должен учитывать особенности мышления, особенности человеческой психики.

В автобиографических записках Л. Инфельда рассказывается о задаче, которую П. Капица предложил Л. Ландау и Л. Инфельду: «...собаке привязали к хвосту металлическую сковородку. Когда собака бежит, сковородка стучается о мостовую. Вопрос: с какой скоростью должна бежать собака, чтобы не слышать стука сковородки? Мы с Ландау долго размышляли, какое тут возможно решение. Наконец Капица сжалился над нами и дал ответ, — разумеется, очень смешной...»¹ Ответ и в самом деле неожиданный: скорость равна нулю.

Что же затрудняло решение столь простой задачи?

¹ Л. Инфельд. Страницы автобиографии физика. «Новый мир», 1965, № 9.

Условия задачи говорят о скорости, а скорость — в нашем представлении — твердо связана с движением. Решая задачу, мы невольно рассматриваем варианты, подразумевающие наличие движения. Конечно, каждому известно, что скорость может быть, в частности, равна нулю. Но это «нетипично», и инерция связанных со словом «скорость» представлений уводит мысль в сторону. Если задачу сформулировать без слова «скорость» («Как должна вести себя собака, чтобы не слышать...»), решение станет очевидным.

Объект, над которым думает изобретатель (машина, процесс, вещество), «задается» в определенных терминах. Каждый такой термин имеет традиционные, привычные границы. Между тем всякое изобретение связано с расширением этих границ. Когда мы, например, представляем себе спуск груза на парашюте, отчетливо рисуется расположенный сверху купол и подвешенный снизу груз. Но вот появляется изобретение, в котором все наоборот: груз расположен над куполом, опускающимся вершиной вниз¹. Привычный термин расширяется: теперь мы знаем, что парашюты могут быть «нормальные» и «обратные».

Исходная терминология сковывает воображение изобретателя. Семинары по методике изобретательства показали, что успешное решение задачи во многом определяется умением «расшатать» систему исходных представлений. Вторая часть алгоритма и представляет собой программу такого расшатывания.

Судя по данным анкетного опроса, часть опытных изобретателей сознательно не желает знакомиться с патентной литературой до решения задачи. Изучение патентов, утверждают эти изобретатели, «мешает свободно думать». Нельзя безоговорочно отмахнуться от такого рода соображений: в творческом процессе определенную роль играют и чисто индивидуальные особенности изобретателя. Во всяком случае, АРИЗ предусматривает такое использование патентной литературы, которое не сковывает, а стимулирует воображение (шаг 2—1).

Работая по алгоритму, изобретатель не ограничивается ознакомлением с патентами, непосредственно относя-

¹ См. авторское свидетельство № 66269. Над куполом располагается осветительный заряд. Купол играет роль рефлектора, направляя световые лучи вверх.

щимися к данной задаче. Он просматривает патенты на аналогичные, но более «тяжелые» изобретения. Скажем, если задача связана с уменьшением шума в строительной технике, есть смысл просмотреть патенты, относящиеся к борьбе с шумом в авиации. Целесообразно также ознакомиться с «обратными» изобретениями (усиление звука).

Процесс «расшатывания» исходных представлений продолжается с помощью оператора РВС (шаг 2—2). Психологическая инерция обусловлена не только терминами, в которых задается объект, но и привычным пространственно-временным представлением об объекте. Размеры объекта и продолжительность его действия либо прямо указаны в условиях задачи, либо подразумеваются сами собой. Достаточно сказать: «автомобиль» — и мы представляем машину определенного размера (не менее 1 м и не более 20 м). Достаточно сказать: «бурение нефтяной скважины» — и мы представляем процесс, идущий в течение определенного времени (месяцы, десятки месяцев).

Существует еще одно измерение, в котором мыслится объект — **стоимость**. Достаточно сказать: «телевизор» — и мы представляем прибор стоимостью в несколько сотен или несколько тысяч рублей.

Оператор РВС — серия мысленных экспериментов, помогающих преодолевать привычные представления об объекте. При использовании оператора РВС последовательно рассматривают изменение задачи в зависимости от изменения трех параметров: размеров (P), времени (B), стоимости (C).

Рассмотрим, например, применение оператора РВС к простой задаче: «Найти способ регулирования сечения трубопровода, по которому движется пульпа» (см. табл. 1).

Оператор РВС не дает точного и однозначного ответа. Цель применения оператора РВС в том, чтобы получить серию идей, направленных «в сторону решения». Это помогает преодолевать психологические барьеры при дальнейшем анализе задачи.

Рассмотрим еще один пример. Допустим, решается задача о способе обнаружения неплотностей в агрегатах холодильников (см. табл. 2).

При мысленных экспериментах с задачей по опера-

Таблица 1

Шаги	Операции	Изменение объекта (или процесса)	Как решается измененная задача	Принцип, использованный в решении
2-2а	$P \rightarrow 0$	$d_{\text{тр}} < 1 \text{ м}$	Регулировать сечение, сдавливая стенки (они стали тонкими и гибкими).	Деформация стенок.
2-2б	$P \rightarrow \infty$	$d_{\text{тр}} > 1000 \text{ м}$	Такой трубопровод подобен реке. Надо построить плотину или ждать естественного регулирования — замерзания, таяния.	Плотина (это та же задвижка) будет истираться. Лучше — изменение агрегатного состояния потока.
2-2в	$B \rightarrow 0$	Перекрыть надо за 0,001 сек.	Нужно нечто быстродействующее, например, электромагнитное поле.	Вместо механического рабочего органа (задвижки) — электромагнитный.
2-2г	$B \rightarrow \infty$	Перекрыть трубопровод надо за 100 дней.	Механическая задвижка будет сильно истираться (с уменьшением сечения растет скорость потока). Надо как-то восстанавливать стертые части.	Задвижка с нарастающими частями.
2-2д	$C \rightarrow 0$	Стоимость перекрытия близка к нулю.	Поток должен сам себя перекрывать.	Саморегулирование.
2-2е	$C \rightarrow \infty$	Стоимость перекрытия выше 1 000 000 руб.	Можно ввести в поток нечто дорогое, но легко поддающееся регулировке. Например, вместо воды использовать расплав металла. Регулировку вести электромагнитами.	«Регулирующиеся добавки».

тору РВС ответы могут быть разными — это зависит от фантазии, знаний, опыта, словом, от индивидуальных ка-

Таблица 2

Шаги	Операции	Изменение объекта (или процесса)	Как решается измененная задача	Принцип, использованный в решении
2-2а	$P \rightarrow 0$	Длина змеевика меньше 1 мм	Количество просочившейся жидкости мало. Надо сделать эту жидкость более «обнаруживаемой». Что-то добавить.	Микродобавки, облегчающие обнаружение.
2-2б	$P \rightarrow \infty$	Длина змеевика больше 100 км	Обнаружение на расстоянии — локация, радиолокация, термолкация. Обычный осмотр (светолокация).	Локация в обычных и инфракрасных лучах, радиолокация.
2-2в	$B \rightarrow 0$	Обнаружить надо за 0,001 сек.	Исключаются механические и химические способы. Остаются электромагнитные и оптические.	Излучение электромагнитное или оптическое.
2-2г	$B \rightarrow \infty$	Обнаруживать надо за 10 лет.	Вытекающая жидкость будет реагировать с материалом змеевика. По изменению внешнего вида материала легко обнаружить место утечки.	Материал змеевика — индикатор вытекающей жидкости.
2-2д	$C \rightarrow 0$	Стоимость обнаружения близка к нулю.	Просачивающаяся жидкость достаточно сильно сообщает о себе.	Самообнаружение, самосигнализация.
2-2е	$C \rightarrow \infty$	Стоимость обнаружения — миллион рублей.	Добавлять в раствор нечто дорогое, но легко обнаруживаемое.	Индикаторные добавки.

честв человека. Нельзя только заменять исходную задачу другой. Так, в последнем примере при ответе на 2—2е нельзя сказать: «Повысить качество изготовления холодильника» — хотя, конечно, разумнее предотвратить появление неплотностей, чем бороться с ними. Надо решать ту задачу, которая выбрана в первой части АРИЗ. Если

выбрана задача обнаружения неплотностей — именно ее и надо исследовать.

В некоторых задачах вместо «размеров» можно рассматривать другие количественные параметры. Например, в задаче: «Найти способ подачи в реактор 24 порошков по заданным графикам» — можно взять количество порошков (2—2а: один порошок, 2—2б: тысяча или десять тысяч порошков).

На преодоление психологической инерции рассчитан и следующий шаг (2—3). Возьмем, например, такую задачу: найти способ изготовления стеклянного куба (фильтра) с ровными капиллярными сквозными отверстиями (длина ребра куба — до 1 м, количество капилляров — несколько десятков на квадратный сантиметр). Условия задачи навязывают (притом неощутимо) определенное исходное представление: дан стеклянный куб, надо проделать в нем капилляры. При решении на рисунках появляются куб и круглые (это привычно) отверстия. В большинстве решений сохраняется это исходное представление: предлагают тем или иным способом делать отверстия в сплошной стеклянной заготовке (твердой или жидкой).

Изменим теперь формулировку задачи: «Найти способ изготовления **воздушного** куба со стеклянными продольными перегородками». Или: «Найти способ изготовления **воздушного** куба со многими тонкими стеклянными стержнями, «нитеями». Стеклянный куб с дырками — это все равно что воздушный куб со стержнями, поскольку дырки тоже могут быть названы воздушными стержнями.

В силу чисто психологических причин мы видим «стеклянный куб с дырками», а не «воздушный куб со стеклянными стержнями», хотя это совершенно равноправные определения. Если задача дана во второй формулировке, она решается быстро и легко (куб можно собрать из стеклянных нитей).

В сущности, когда от «стеклянного куба с воздушными отверстиями» мы переходим к «воздушному кубу со стеклянными стержнями», **привычное** переводится в **непривычное**, то есть совершается операция, о которой говорит У. Гордон, автор синектики. Однако синектика не указывает способов превращения привычного в непривычное, она лишь призывает к подобным превращениям. В АРИЗ такая операция запрограммирована в шагах

2—2 (оператор РВС) и 2—3. Отвечая на вопросы шага 2—3, мы переходим от неправильной формулировки задачи к правильной, в которой нет акцента на одном элементе (стекле). **Системный подход заставляет увидеть все элементы** (а это в большинстве случаев непривычно).

Правильное выполнение шага 2—3 существенно облегчает решение задачи. При выполнении этого шага надо тщательно следить за тем, чтобы:

а) из формулировки задачи были убраны специальные термины;

б) были правильно перечислены все элементы, входящие в рассматриваемую систему.

Например, в формулировке «Дана система из стеклянного куба и капилляров» две ошибки: 1) слово «капилляр» лучше заменить словом «отверстие» и 2) «стеклянный куб» — это сплошной куб, а у нас то, что осталось от куба после того, как в нем проделали множество отверстий. Правильная формулировка: «Дана система из отверстий и стеклянных стенок между ними».

Разложив систему на элементы, надо выбрать тот, который необходимо изменить, чтобы решить задачу (шаги 2—4 и 2—5). Главный признак, по которому ведется выбор, — степень изменчивости, управляемости. Чем легче менять элемент (в условиях данной задачи), тем больше оснований взять этот элемент в качестве объекта для дальнейшего анализа. Здесь есть простое (хотя и не универсальное) эмпирическое правило: к 2—4а обычно относятся объекты **технические**, к 2—4б — **природные**. Многие изобретательские ошибки (ниже это будет показано на примерах) объясняются стремлением менять элементы, относящиеся к 2—4б.

—Реализация первой и второй частей АРИЗ требует — для средней задачи — не более двух часов (не считая, конечно, времени, необходимого на ознакомление с патентной литературой). Надо сказать, что ни один шаг не был включен в алгоритм без многократной практической проверки на семинарах. При этом в алгоритм вошли только такие шаги, которые существенно облегчали процесс решения. Есть немало приемов, подходов, методов, иногда оказывающихся полезными, но, в общем, не обязательных. Алгоритм, рассчитанный на человека, должен быть компактным: слишком долгий разбег не оставляет сил для прыжка, для взлета. И наоборот: когда каждый

шаг ощутимо меняет исходную задачу и ясно видно, что задача «обрабатывается», тогда возникает уверенность — основа вдохновения. Два часа организованного мышления позволяют изобретателю «прочувствовать» суть задачи значительно глубже, чем недели и месяцы беспорядочных наскоков. Теперь изобретатель может уверенно переходить к выявлению технического противоречия, которое нужно устранить.

* * *

Американский математик Д. По́йа, много занимавшийся психологией творчества, рассказывает о таком эксперименте. Курицу ставят перед сеткой, за которой расположена пища. Курица не может достать пищу до тех пор, пока не обойдет сетку. «Задача, однако, оказывается удивительно трудной для курицы, которая будет суетливо бегать взад и вперед на своей стороне забора и может потерять много времени, прежде чем доберется до корма, если она вообще доберется до него. Впрочем, после долгой беготни ей это может удалиться случайно».

По́йа не без иронии сопоставляет поведение курицы с поведением человека, бессистемно пытающегося решить творческую задачу: «Нет, даже курицу не следует винить за несообразительность. Ведь определенно трудно бывает, когда надо отвернуться от цели, уходить от нее, продолжать действовать, не видя постоянно цели впереди, сворачивать с прямого пути. Между затруднениями курицы и нашими имеется явная аналогия»¹.

В качестве иллюстрации По́йа приводит простую задачу: как принести из реки ровно шесть литров воды, если для измерения ее имеется только два ведра — одно емкостью в четыре литра, а другое в девять литров?

Разумеется, переливать «на глазок» половину или треть ведра нельзя. Задача должна быть решена отмериванием двумя ведрами именно той емкости, которая указана.

На семинарах я предлагал эту задачу слушателям до того, как мы приступали к изучению методики поиска решения. Результаты никогда не расходились с выводами По́йа. Задачу пытались решать, без системы перебирая всевозможные варианты: «А если сделать так?..» Пра-

¹ Д. По́йа. Как решать задачу, стр. 156—157.

вильное решение появлялось после многочисленных «а если». Между тем задача решается чрезвычайно просто. Надо только знать метод подхода ко всем задачам, требующим «догадки».

Так обстоит дело и с изобретательскими задачами. Мышление изобретающего человека имеет характерную особенность: решая задачу, человек представляет себе усовершенствуемую машину и мысленно изменяет ее. Изобретатель как бы строит ряд мысленных моделей и экспериментирует с ними. При этом исходной моделью чаще всего берется та или иная уже существующая машина. Такая исходная модель имеет ограниченные возможности развития, сковывающие воображение. В этих условиях трудно прийти к принципиально новому решению.

Если же изобретатель начинает с определения идеального конечного результата, то в качестве исходной модели принимается идеальная схема — предельно упрощенная и улучшенная. Дальнейшие мысленные эксперименты не отягощаются грузом привычных конструктивных форм и сразу же получают наиболее перспективное направление: изобретатель стремится достичь наибольшего результата наименьшими средствами.

Рассмотрим задачу о двух ведрах.

Неудачи при решении методом «а если» связаны с попытками получить ответ, идя от начала к концу. Попробуем поступить наоборот: пойдем от конца к началу.

Нам нужно, чтобы в одном из ведер было шесть литров воды. Очевидно, это может быть только большое ведро. Итак, конечный результат состоит в том, чтобы большое ведро оказалось заполненным на шесть литров.

Для этого необходимо наполнить большое ведро (оно вмещает девять литров), а затем отлить из него три литра. Если бы второе ведро имело емкость не четыре литра, а три, задача была бы сразу решена. Но второе ведро — четырехлитровое. Чтобы оно стало трехлитровым, надо налить в него один литр воды, тогда оно «превратится» в трехлитровое, и появится возможность отлить из большого ведра три литра.

Таким образом, исходная задача свелась к другой, более легкой: отмерить с помощью двух имеющихся ведер один литр. Но это не представляет никаких трудностей, ибо $9 - (4 + 4) = 1$.

Наполняем большое ведро и дважды отливаем, отмеривая маленьким ведром, по четыре литра. После этого в большом ведре останется один литр, который можно перелить в пустое маленькое ведро.

Теперь четырехлитровое ведро «превратилось» в трехлитровое, а это нам и нужно было. Еще раз наполняем большое ведро и отливаем из него в маленькое три литра. В большом ведре остается, как и требовалось для решения задачи, шесть литров воды.

Последовательно продвигаясь от конца к началу, мы решили задачу, не сделав ни одного бесполезного шага.

Правильно сформулировать идеальный конечный результат — значит, надежно выйти на верный путь решения задачи.

Некоторые изобретатели так и делают. Примечательно, что особенно большое значение этому приему придают те изобретатели, которые ничего не говорят в анкетах о выявлении присущего задаче технического противоречия. Вот, например, что пишет изобретатель Ю. Емельянов (Москва): «После постановки задачи пытаюсь представить идеальную конечную цель и затем думаю, как достичь этой цели. Особых принципов не замечал». Таким образом, «до» и «после» определения идеального конечного результата работа ведется стихийно; сознательно используется только один прием. Это, конечно, не случайно. Хорошее владение одним приемом компенсирует «простой» других приемов.

Часть приемов, входящих в алгоритм решения изобретательских задач, порознь используется изобретателями. Чаще всего изобретатель применяет два или три хорошо освоенных приема. У наиболее методичных изобретателей «эксплуатируется» пять — семь приемов. Методика изобретательства (даже при первоначальном знакомстве) увеличивает творческий арсенал, включая в него десятки приемов, составляющих в совокупности рациональную систему решения задач.

* * *

Третья часть алгоритма начинается с определения идеального конечного результата. Казалось бы, нетрудно ответить на вопрос: «Что желательно получить в идеальном случае?» Однако практика обучения изобретательству показала, что отвлечься от ограничений и запретов,

накладываемых реальными обстоятельствами, и представить себе действительно идеальный результат крайне трудно. Если, например, речь идет об устройстве для окраски внутренней поверхности труб, идеальный результат рисуется обычно в виде некоей достаточно компактной «автокисти», которая движется внутри трубы. Тут отчетливо видна привязанность к уже известным устройствам, предназначенным для окраски внешних поверхностей. Идеальный же результат следовало бы сформулировать иначе: «Краска сама поступает в трубу и сама равномерно покрывает ее внутреннюю поверхность». В дальнейшем может выясниться (чаще всего так и бывает), что краска не может сама осуществлять все то, что нам хотелось бы. Тогда какую-то часть **идеальной схемы** мы подкрепим конструкцией или техническим приемом, стремясь, однако, как можно меньше отступать от идеала.

Правильное определение идеального конечного результата чрезвычайно важно для всего творческого процесса. Поэтому на методических семинарах при решении учебных задач вопрос иногда ставился в такой форме: «Представьте себе, что у вас в руках волшебная палочка. Каким будет идеальный результат (решения данной задачи), если использовать волшебную палочку?» От волшебной палочки не потребуешь, чтобы она создала, например, «устройство для нанесения краски». Палочка — сама «устройство». И ответ обычно бывал правильным («Пусть краска сама поступает в трубу...» и т. д.). Постепенно необходимость упоминать о волшебной палочке исчезает, и остается та формулировка вопроса, которая записана в алгоритме.

Существуют два правила, помогающие точнее определить идеальный конечный результат.

Правило первое: не следует загадывать заранее, возможно или невозможно достичь идеального результата.

Вспомним, например, задачу о подъемном устройстве для транспортных самолетов. Идеальным результатом в этой задаче было бы следующее: при погрузке на самолете появляется кран, затем в полете этот кран исчезает, а при разгрузке на другом аэродроме он появляется вновь. На первый взгляд это совершенно невозможно осуществить. Однако каждое изобретение, как уже говори-

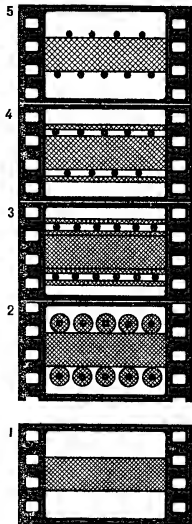


Рис. 7. Надо отчетливо представить себе каждую деталь, а затем упростить полученную схему.

го стекла. В этот момент он не думал о том, как это будет конкретно осуществлено. Обстоятельство чрезвычайно показательное! Ведь создать школьный телескоп — значит создать телескоп дешевый, а пластинка из оптического стекла, казалось бы, заведомо преграждала путь в этом направлении: оптическое стекло дорогое.

Нужна была большая смелость мысли, чтобы повер-

лось, — путь через «невозможно». И в этой задаче «невозможно» означает лишь «невозможно известными способами». Изобретатель должен найти новый способ, и тогда невозможное станет возможным.

Кран, смонтированный на самолете, конечно, не способен исчезать. Но на время полета металлическая ферма крана может быть включена в силовую схему фюзеляжа. Кран станет (в полете) частью конструкции самолета, будет нести полезную нагрузку и исчезнет как груз. Вес крана компенсируется соответствующим уменьшением веса конструкции фюзеляжа.

Правило второе: не надо заранее думать о том, как и какими путями будет достигнут идеальный конечный результат.

Вспомните, как шел Д. Д. Максудов к идее менискового телескопа. Изобретателю надо было как-то прикрыть отверстие рефлектора, чтобы предохранить зеркало от загрязнения и повреждений. Максудов начал с определения идеального конечного результата: мысленно закрыл отверстие телескопа пластинкой из оптическо-

нуться спиной к задаче. Но только так и удалось найти путь к удешевлению всей конструкции и снижению ее общей стоимости.

При решении многих задач наилучший способ определить идеальный конечный результат состоит в том, чтобы просто перевести вопрос, содержащийся в задаче, в утвердительную форму. Взять хотя бы магнитную сборку подшипников. Вопрос, поставленный в задаче, таков. как при монтаже укреплять ролики на дорожках качения цапфы? Идеальный конечный результат можно сформулировать так: «Ролики сами собой держатся на своих местах» (или: «Внешняя среда сама держит ролики...»). Обратите внимание: на определение идеального результата не влияют соображения о том, возможно или невозможно, чтобы ролики держались «сами собой», и как именно это будет осуществлено.

Представьте себе два кинокадра. На одном изображена ситуация, породившая задачу. В данном случае на кинокадре должна быть показана цапфа с падающими роликами. Второй кинокадр — идеальный конечный результат. Ролики «сами» держатся на цапфе.

К такому зрительному представлению «в два кадра» легко привыкнуть. Вместе с тем оно избавляет от многих ошибок при определении идеального результата. Кинематограф приучил нас преодолевать невозможное: на экране все возможно — это специфика кино. Поэтому и целесообразно использовать имеющиеся у каждого «кинонавыки» для того, чтобы правильно сделать первый шаг аналитической стадии.

Решение задачи 1

На одном кинокадре должно быть тороидальное колечко без проволоки, а на другом — то же колечко, но уже с появившейся на нем проволоочной обмоткой.

Как именно появилась обмотка — это пока не важно. Зато очень важно, как выглядит готовое изделие. Тут надо отчетливо представить себе каждую деталь, а затем упростить полученную схему.

Кольцо с намоткой можно показать на втором кадре в общем виде. Это неплохо, но можно сделать лучше: дать крупным планом одну часть кольца, зато в разрезе (рис. 7). Так намного яснее — к чему следует стремиться. Ведь тут прямо напрашивается третий кадр: упростим

изображение, объединим слои изоляции. И четвертый кадр: уберем **нижний общий слой** изоляции (ферриты сами обладают свойствами изоляторов). А теперь пятый кадр: уберем **верхний общий слой** изоляции. Раз он общий, его всегда легко нанести.

У нас остается тороид со спиральным металлическим слоем. И задача коренным образом облегчается: получить металлический спиральный слой намного проще, чем наматывать изолированную проволоку...

* * *

Разумеется, нужен опыт, чтобы вот так идти от кадра к кадру. Но это и не обязательно. Шаг 3—2 предусматривает только два рисунка: «Было» и «Стало» (ИКР). Далее (шаг 3—3) на рисунке «Стало» выделяется та часть объекта, которая не может выполнить требуемого действия — и это в определенной мере заменяет дальнейшие рисунки.

Делая шаги 3—1 и 3—2, изобретатель смело отмеривает желаемое. Шаг 3—3 заставляет задать себе вопрос: а почему, собственно, желаемое невозможно?

Выясняется, что при попытке получить желаемое (используя для этого уже известные способы), возникает помеха — приходится расплачиваться дополнительным весом или увеличением объема, усложнением эксплуатации или увеличением стоимости машины, уменьшением производительности или недопустимым снижением надежности. Это и есть техническое противоречие, присущее данной задаче.

Каждая помеха обусловлена определенными причинами. Шаг 3—4 состоит в определении этих причин.

Причины помехи почти всегда лежат на виду, и найти их нетрудно, лишь в редких случаях эти причины неясны. Однако не следует сразу переходить к экспериментам. Дело в том, что для эффективного решения задачи далеко не всегда нужно детальное проникновение в физико-химическую суть помехи. Допустим, техническое противоречие обусловлено недостаточной прочностью материала. Понятно, что изучение этого материала может дать новые сведения, позволяющие устранить помеху. Но это путь исследовательский, а не изобретательский: здесь делается открытие (пусть небольшое), а не изобретение. Исследовательская же работа требует специального обо-

рудования и значительного времени. Выгоднее идти изобретательским путем, пока его возможности не исчерпаны. Поэтому при определении непосредственных причин технического противоречия можно и нужно ограничиться самыми общими формулировками.

Вспомним задачу о магнитной сборке. Идеальный результат состоял в том, чтобы ролики «сами собой» держались на местах. Достижению этого результата мешало то, что ролики сами собой не держались и падали. Причина помехи очевидна: ролики сделаны из металла, цапфа тоже металлическая, а металл на металле сам собой не закрепляется. Большей детализации в определении причин помехи и не требуется.

Когда причина помехи найдена, можно сделать еще один шаг и определить, при каких условиях исчезнет помеха. Так, в задаче о магнитной сборке помеха исчезнет, когда металл «без ничего» будет держаться на металле. После такого преобразования задачи уже трудно не догадаться о намагничивании.

Рассмотрим в качестве примера задачу о гоночном автомобиле.

Решение задачи 3

2—3. Дана система из колеса и обтекателя. Сквозь обтекатель не видно положение колеса.

2—4. а) Обтекатель.

б) Колесо.

(К колесу автомашины предъявляется много требований, любое изменение может вступить в конфликт с этими требованиями. К обтекателю предъявляется только одно требование — сохранение определенной формы. Значит, обтекатель — в условиях данной задачи — менять легче.)

2—5. Обтекатель.

3—1. Обтекатель сам позволяет видеть колесо — без ухудшения аэродинамических качеств.

Задача простенькая, не выше второго уровня. Но сейчас нас интересует механизм решения — его удобнее рассматривать на таких простых задачах.

Решение напрашивается уже на шаге 2—3. А шаг 3—1 с предельной точностью выводит на решение. Обтекатель сам пропускает лучи: следовательно, исключены все в

рианты с зеркалами, светопроводами и т. п. **Без ухудшения аэродинамических качеств:** следовательно, форму и положение обтекателя менять нельзя, дырки в обтекателе тоже нельзя делать. Остается одно — сделать обтекатель прозрачным. Это позволит совместить несовместимое: будут улучшены аэродинамические качества автомобиля и в то же время гонщик сохранит возможность, как и раньше, наблюдать за колесами.

Сейчас, когда решение найдено, оно кажется очевидным. Действительно, такое решение могло появиться уже в сороковых годах. Здесь, видимо, сказалась инерция мышления. Когда задача возникла, не было материала для изготовления прозрачных обтекателей: ведь обычное стекло не годится — оно слишком хрупкое. Тогда и привыкли считать, что колесо можно прикрыть лишь металлическим обтекателем, а металл, как известно, непрозрачен. С течением времени условия изменились: появилась прозрачная и прочная пластмасса (органическое стекло), однако «сработала» инерция мышления — задача осталась нерешенной. Способствовало этому и то, что задача отпала только к гоночным автомобилям и потому не попадала в поле зрения конструкторов обычных автомобилей. Для обычного автомобиля едва ли нужны прозрачные обтекатели колес (они быстро загрязнятся и перестанут быть прозрачными — тут это решение непригодно). Но вообще сделать машину или часть машины прозрачной — один из сильных приемов решения изобретательских задач.

* * *

На рис. 8 показана схема работы по АРИЗ. Используя ИКР как ориентир, изобретатель сразу выходит в район сильных решений. Затем он шаг за шагом исследует техническое противоречие, содержащееся в задаче. Ясное представление о техническом противоречии и его, так сказать, внутренней механике позволяет в ряде случаев уже на этом этапе прийти к идее решения. Однако, как правило, идея — в первоначальном своем виде — еще сыровата. Ее надо «дотянуть», откорректировать, усилить ее преимущества и по возможности убрать недостатки. Это осуществляется в четвертой части АРИЗ.

Иногда недостатки идеи оказываются слишком серьезными, преимущества — сомнительными, а повторный

анализ не дает ничего нового. Тогда следует перейти к пятой части АРИЗ.

Изобретательских задач — бесчисленное множество. Но содержащиеся в них технические противоречия довольно часто повторяются. А коль скоро существуют **типичные противоречия**, то должны существовать и **типичные приемы их устранения**. Действительно, статистическое исследование изобретений обнаруживает четыре десятка наиболее эффективных приемов устранения технических противоречий. Их использование (порознь или в том или ином сочетании) лежит в основе многих изобретений. Разумеется, тут нет и тени принижения творчества: в конце концов вся безграничная вселенная собрана из сотни элементов.

Составим теперь таблицу. В вертикальную колонку запишем показатели, которые желательно изменить (улучшить, увеличить, уменьшить и т. д.), в горизонтальную строку — показатели, которые недопустимо ухудшатся, если осуществить желаемое изменение обычными (уже известными) способами.

В приложении 1 приведена таблица, составленная в результате анализа 40 тысяч изобретений. С использования этой таблицы и начинается пятая часть алгоритма.

Допустим, мы хотим решить задачу о гоночной машине. Можно ли о б ы ч н ы м и средствами уменьшить по-

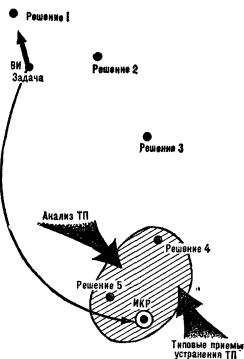


Рис. 8. По АРИЗ решать задачу начинают с определения идеального конечного результата (ИКР). Это помогает сразу выйти в район сильных решений. Дальнейший поиск облегчается выявлением технического противоречия (ТП) и применением типовых приемов его устранения.

тери энергии, вызываемые несовершенной аэродинамической формой колес? Да, можно: надо спрятать колеса под обтекаемый кузов. Но тогда гонщик не сможет следить за положением колес. Таким образом, мы имеем противоречие типа «потери энергии — условия наблюдения» (или наоборот: «условия наблюдения — потери энергии»).

Обратимся теперь к таблице. В списке характеристик объекта есть «потери энергии» (строка 22), но нет «условий наблюдения». Возьмем вместо этого колонку 33 — «удобство эксплуатации». На пересечении горизонтальной строки и вертикальной колонки получаем цифры 35, 32, 1. Это номера рекомендуемых приемов. Какие-то из них могут оказаться ключом к решению задачи.

Нам еще придется детально познакомиться со всеми приемами. Сейчас отметим лишь, что среди трех приемов, подсказанных таблицей, есть и такой: «Сделать объект прозрачным» (прием 32).

Если бы мы взяли противоречия типа «удобство работы и контроля — потери энергии» или «потери энергии — потери информации», то и в этих случаях среди рекомендуемых приемов было бы — «сделать объект прозрачным».

ИНСТРУМЕНТЫ ИЗОБРЕТАТЕЛЯ

Давайте детальнее познакомимся с таблицей типовых приемов и самими этими приемами.

Создание подобных таблиц — работа чрезвычайно трудоемкая. К сожалению, нельзя поступить так: подряд анализировать изобретения, отбирать наиболее часто встречающиеся решения и вписывать их в таблицу. Авторские свидетельства и патенты довольно часто выдаются на весьма тривиальные решения, и составленная на их основе таблица давала бы, как правило, слабые решения даже в том случае, если весь массив анализируемых изобретений содержит только сильные решения. Приемы, которые были оригинальными и сильными 5—10—20 лет назад, могут оказаться слабыми при решении новых задач.

Поэтому при составлении таблицы для каждой клеточки приходится определять а в а н г а р д н у ю отрасль техники, в которой данный тип противоречий устраняется наиболее сильными и перспективными приемами. Так, для противоречий типа «вес — продолжительность действия», «вес — скорость», «вес — прочность», «вес — надежность» и т. д. наиболее подходящие приемы содержатся в изобретениях по авиационной технике. Противоречия, связанные с необходимостью повышать точность, эффективнее всего устраняются приемами, присущими изобретениям в области оборудования для физических экспериментов.

Таблица, построенная на приемах, взятых из таких ведущих отраслей техники, будет помогать находить сильные решения для обычных изобретательских задач. Чтобы таблица годилась и для задач, возникающих в ведущих отраслях, она должна дополнительно вобрать в себя и новейшие приемы, которые еще только входят в изобретательскую практику. Эти приемы чаще встречаются не в тех «благополучных» изобретениях, на которые выданы авторские свидетельства, а в з а я в к а х, отклоненных из-за «неосуществимости», «нереальности».

АРИЗ-65 имел таблицу, составленную на основе анализа пяти тысяч изобретений, относящихся к сорока трем патентным классам. В АРИЗ-71 таблица значительно более подробна. При ее составлении проанализировано свыше сорока тысяч изобретений. Не все клетки таблицы заполнены, тем не менее она охватывает около полутора тысяч типов технических противоречий, указывая для каждого типа вероятные приемы решения.

Необходимо подчеркнуть, что приемы устранения технических противоречий, рекомендуемые таблицей, сформулированы в общем виде. Они подобны готовому платью: их надо подгонять, учитывая индивидуальные особенности задачи. Если, например, таблица рекомендует прием 1 («Дробление»), это лишь означает, что решение **как-то связано** с разделением объекта. Таблица отнюдь не избавляет изобретателя от необходимости думать, она лишь направляет мысль по наиболее перспективным путям.

Совместимо ли использование типовых приемов с творческим характером изобретательского процесса? Да, совместимо! Более того, все современные изобретатели пользуются типовыми приемами, порой и не подозревая об этом.

Попытки составления списков приемов предпринимались с начала XX века. Но списки эти не были достаточно полными, так как их составляли по случайным наблюдениям и разрозненным материалам. Для правильного составления и периодического обновления списков приемов необходимо систематически исследовать патентную информацию, анализировать десятки тысяч изобретений по большинству патентных классов. Сейчас эта работа ведется регулярно, и каждая модификация АРИЗ снабжает уточненным и дополненным перечнем приемов.

В творческой мастерской изобретателя приемы играют роль набора инструментов, и, чтобы пользоваться ими, нужны определенные навыки. В простейшем случае изобретатель, просматривая перечень приемов, ищет подсказку по аналогии. Это способ медленный и не очень эффективный. Иначе обстоит дело, когда решение задачи ведется по АРИЗ: таблица применения приемов указывает наиболее подходящее решение для данной задачи. На первых этапах освоения АРИЗ изобретатель применяет приемы подряд, на более поздних — по таблице. Однако

во всех случаях надо знать типовые приемы и уметь их использовать.

Перечень типовых приемов — это своего рода настольный справочник изобретателя, но справочник особого рода: изобретатель должен рассматривать его как основу, которую необходимо самостоятельно пополнять по новым техническим и патентным публикациям.

* * *

Рассмотрим типовые приемы устранения технических противоречий.

1. Принцип дробления

- а) Разделить объект на независимые части.
- б) Выполнить объект разборным.
- в) Увеличить степень дробления (измельчения) объекта.

Примеры. Патент США № 2859791. Пневматическая шина, состоящая из двенадцати независимых секций¹.

Разделение шины осуществляется, чтобы повысить надежность. Но это далеко не единственный повод для использования столь сильного приема. Дробление — одна из ведущих тенденций в развитии современной техники.

Еще несколько примеров.

Авторское свидетельство № 168195. Ковш одноковшового экскаватора со сплошной полукруглой режущей кромкой, отличающийся тем, что для обеспечения быстрой и удобной замены сплошной режущей кромки последняя выполнена из отдельных съемных секций.

Авторское свидетельство № 184219. Способ непрерывного разрушения горных пород зарядами ВВ, отличающийся тем, что с целью получения мелких фракций непрерывное разрушение поверхностного слоя производят микрозарядами.

2. Принцип вынесения

Отделить от объекта «мешающую» часть («мешающее» свойство) или, наоборот, выделить единственно нужную часть (нужное свойство).

Примеры. Авторское свидетельство № 153533. Уст-

¹ Здесь, как и в других примерах, я стремился к максимальной наглядности. Пусть читателя не смущает, что некоторые принципы проиллюстрированы «мелкими» или «смешными» идеями. Важна суть.

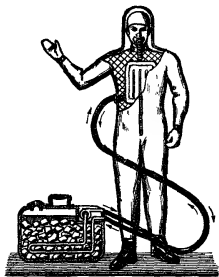


Рис. 9. Принцип вынесения: раньше горноспасатель носил на спине ранец с холодильным устройством; теперь оно помещено в отдельном контейнере.

ройство для защиты от рентгеновских лучей, отличающееся тем, что с целью защиты от ионизирующего излучения головы, плечевого пояса, позвоночника, спинного мозга и гонад пациента при флюорографии, например, грудной клетки оно снабжено защитными барьерами и вертикальным, соответствующим позвоночнику стержнем, изготовленным из материала, не пропускающего рентгеновские лучи.

Целесообразность этой идеи очевидна.

Изобретение выделяет наиболее вредную часть потока и блокирует ее. За-

явка подана в 1962 году, между тем это простое и нужное изобретение могло быть сделано значительно раньше.

Мы привыкаем рассматривать многие объекты как набор традиционных и неотъемлемых друг от друга частей. В набор вертолета, например, входят и баки с горючим. Действительно обычный вертолет вынужден возить горючее. Однако в тех случаях, когда вертолет курсирует по определенному маршруту, горючее можно оставить на земле. На электровертолете бензиновый двигатель заменен электромотором, а баков вообще нет.

В авторском свидетельстве № 257301 «бак» есть, но он отделен от человека (рис. 9).

Еще один пример. Столкновение самолетов с птицами вызывают иногда тяжелые катастрофы. В США запатентованы самые различные способы отпугивания птиц от аэродромов (механические чучела, распыление нафталина и т. д.). Наилучшим оказалось громкое воспроизведение крика перепуганных птиц, записанного на магнитонную ленту.

Отделить птичий крик от птиц — решение, конечно, необычное, но характерное для принципа вынесения.

3. Принцип местного качества

- а) Перейти от однородной структуры объекта (или внешней среды, внешнего воздействия) к неоднородной.
- б) Разные части объекта должны иметь разные функции.
- в) Каждая часть объекта должна находиться в условиях, наиболее соответствующих ее работе.

Примеры. Авторское свидетельство № 256708. Способ подавления пыли в горных выработках, отличающийся тем, что с целью предотвращения распространения тумана по выработкам и сноса его с источника пылеобразования вентиляционным потоком подавление пыли производят одновременно тонкодиспергированной и грубодисперсной водой, причем вокруг конуса тонкодиспергированной воды создают пленку из грубодисперсной воды.

Авторское свидетельство № 280328. Способ сушки зерна риса, отличающийся тем, что с целью уменьшения образования трещиноватых зерен рис перед сушкой разделяют по крупности на фракции, которые сушат раздельно с дифференцированными режимами.

Принцип местного качества отчетливо отражается в историческом развитии многих машин: они постепенно дробились и для каждой части создавались наиболее благоприятные местные условия.

Первоначально паровой двигатель представлял собой цилиндр, выполнявший одновременно функции парового котла и конденсатора. Вода заливалась непосредственно в цилиндр. Огонь обогревал цилиндр, вода закипала, пар поднимал поршень, после чего жаровню с огнем убирали, а цилиндр поливали холодной водой. Пар конденсировался, и поршень под действием атмосферного давления шел вниз.

Позднее изобретатели догадались отделить паровой котел от цилиндра двигателя. Это позволило существенно сократить расход топлива.

Однако отработанный пар по-прежнему конденсировался в самом цилиндре, что вызывало огромные тепловые потери. Нужно было сделать следующий шаг — отделить от цилиндра конденсатор. Эту идею выдвинул и осуществил Джемс Уатт. Вот что он рассказывает:

«После того как я всячески обдумывал вопрос, я при-

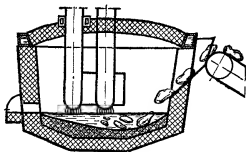


Рис. 10. Принцип асимметрии: электроды в дуговой печи сдвинуты в сторону, у загрузочного окна образовалось свободное пространство, что позволяет загружать шихту непрерывно.

шел к твердому заключению: для того чтобы иметь совершенную паровую машину, необходимо, чтобы цилиндр всегда был так же горяч, как и входящий в него пар. Однако конденсация пара для образования вакуума должна происходить при температуре не выше 30 градусов...

Это было возле Глазго, я вышел на прогулку около полудня. Был

прекрасный день. Я проходил мимо старой прачечной, думая о машине, и подошел к дому Герда, когда мне пришла в голову мысль, что пар ведь упругое тело и легко устремляется в пустоту. Если установить связь между цилиндром и резервуаром с разреженным воздухом, то пар устремится туда и цилиндр не надо будет охлаждать. Я не дошел еще до Гофхауза, как все дело было кончено в моем уме!»

4. Принцип асимметрии

Перейти от симметричной формы объекта к асимметричной.

Машины рождаются симметричными. Это их традиционная форма. Поэтому многие задачи, трудные по отношению к симметричным объектам, легко решаются нарушением симметрии.

Примеры. Тиски со смещенными губами. В отличие от обычных, они позволяют зажимать в вертикальном положении длинные заготовки.

Фары автомобиля должны работать в разных условиях: правая должна светить ярко и далеко, а левая — так, чтобы не слепить водителей встречных машин. Требования разные, а устанавливались фары всегда одинаково. Лишь несколько лет назад возникла идея несимметричной установки фар: левая освещает дорогу на расстоянии до 25 метров, а правая — значительно дальше.

Патент США № 3435875. Асимметричная пневматическая шина имеет одну боковину повышенной прочности и



Рис. 11. Принцип объединения: раньше приходилось останавливать роторный экскаватор, чтобы разогреть мерзлый грунт; теперь форсунки установлены непосредственно на роторе.

сопротивляемости ударам о бордюрный камень тротуара.

Авторское свидетельство № 242325. Дуговая электропечь для плавки чугуна с боковой загрузкой твердой шихты, отличающаяся тем, что с целью создания непрерывности процесса плавления ее подина выполнена асимметрично вогнутой, расширенной к загрузочному окну (рис. 10).

5. Принцип объединения

- а) Соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты.
- б) Объединить во времени однородные или смежные операции.

Примеры. Авторское свидетельство № 235547. Рабочее оборудование роторного экскаватора, включающее ротор и стрелу, отличающееся тем, что с целью уменьшения усилия резания оно выполнено с устройством для разогрева мерзлого грунта, имеющим форсунки, смонтированные, например, на секторах по обоим торцам ротора (рис. 11).

Авторское свидетельство № 134155. Спасательное водолазное устройство для вывода на поверхность людей, оказавшихся в воздушных мешках отсеков затонувших судов, с применением шлем-масок, отличающееся тем, что с целью повышения эффективности спасательных операций, производимых водолазом, оно выполнено в виде одной или двух шлем-масок, снабженных шлангами и арматурой для присоединения к штуцерному крану, вмонтированному в водолазный скафандр, от которого произ-

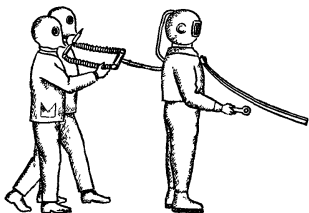


Рис. 12. Еще одно применение принципа объединения.

водится регулирование подачи воздуха в шлем-маски (рис. 12).

6. Принцип универсальности

Объект выполняет несколько разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах.

Примеры. В Японии рассматривается возможность постройки танкера, оборудованного нефтеперегонной установкой¹. Смысл проекта — совмещение во времени процессов транспортировки и переработки нефти.

Авторское свидетельство № 160100. Способ транспортирования материала, например табачных листьев, к сушильным установкам с помощью водяного потока в гидротранспортере, отличающийся тем, что с целью одновременного осуществления промывки табачных листьев и фиксации их цвета используют воду, нагретую до 80—85°C.

Авторское свидетельство № 264466. Элемент памяти на тонкой цилиндрической пленке, нанесенной на диэлектрическую подложку, отличающийся тем, что с целью упрощения элемента сама пленка служит шиной записи-считывания.

¹ Реферативный журнал «Водный транспорт», сводный том, 1970, № 10, стр. 6.

7. Принцип «матрешки»¹

- а) Один объект размещен внутри другого объекта, который, в свою очередь, находится внутри третьего и т. д.
- б) Один объект проходит сквозь полость в другом объекте.

Примеры. Авторское свидетельство № 186781. Ультразвуковой концентратор упругих колебаний, состоящий из скрепленных между собой полуволновых отрезков, отличающийся тем, что с целью уменьшения длины концентратора и увеличения его устойчивости полуволновые отрезки выполнены в виде полых конусов, вставленных один в другой (рис. 13).

Авторское свидетельство № 110596. Способ хранения и транспортировки разнородных по вязкости нефтепродуктов в корпусе плавучей емкости, отличающийся тем, что хранение их с целью уменьшения потерь тепла высоковязких нефтепродуктов производят в отсеках емкости, расположенных внутри отсеков, заполненных невязкими сортами нефтепродуктов.

Авторское свидетельство № 272705. Устройство для внесения удобрений в почву, включающее бункер и правую и левосторонние дозирующие шнеки, отличающееся тем, что с целью регулирования рабочей ширины захвата каждый дозирующий шнек выполнен из двух ввинченных одна в другую секций (рис. 14).

8. Принцип антивеса

- а) Компенсировать вес объекта соединением с другими объектами, обладающими подъемной силой.

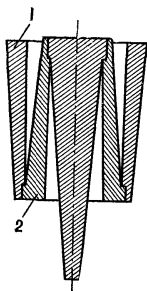


Рис. 13. Принцип «матрешки»: компактный ультразвуковой концентратор; 1 и 2 — полые конусы.

¹ Пусть читателя не смущают «несерьезные» названия некоторых приемов. Принцип «матрешки» можно назвать вполне серьезно принципом интегрирующей концентрации. Однако простые и образные названия значительно быстрее и лучше запоминаются.

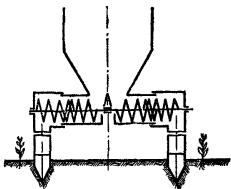


Рис. 14. Еще одна «матрешка»: ширину дозирующего шнека регулируют, ввинчивая одну секцию в другую.

- б) Компенсировать вес объекта взаимодействием со средой (за счет аэро-, гидродинамических и других сил).

Примеры. Авторское свидетельство № 187700. Способ спуска в скважину и извлечения из нее стреляющей и взрывной аппаратуры, отличающийся тем, что с целью удешевления и упрощения прострелочных и взрыв-

ных работ спуск стреляющей и взрывной аппаратуры производят свободно под действием собственного веса, а подъем к устью скважины — с помощью встроенного в корпус реактивного двигателя.

При создании сверхмощных турбогенераторов возникла сложная задача: как уменьшить давление ротора на подшипники. Решение нашли в том, что над турбогенератором установили сильный электромагнит, компенсирующий давление ротора на подшипники.

Иногда приходится решать обратную задачу: компенсировать недостаток веса. При создании и эксплуатации шахтных электровозов возникает явное техническое противоречие: для увеличения тяги нужно утяжелять электровоз, а для уменьшения его мертвого веса следует делать электровоз возможно более легким. Группа сотрудников Ленинградского горного института разработала и успешно применила простое устройство, позволяющее снять это техническое противоречие и в полтора раза увеличить производительность рудничных электровозов: в ведущих колесах монтируется мощный электромагнит; создается магнитное поле, охватывающее колеса и рельсы; сила сцепления резко возрастает, а вес электровоза может быть снижен.

9. Принцип предварительного напряжения

Заранее придать объекту напряжения, противоположные недопустимым или нежелательным рабочим напряжениям.

Примеры. Авторское свидетельство № 84355. Заготовку турбинного диска устанавливают на вращающийся поддон. Нагретая заготовка по мере охлаждения сжимается. Но центробежные силы (пока заготовка не потеряла пластичности) как бы отштамповывают заготовку. Когда же деталь остынет, в ней появятся сжимающие усилия.

На этом принципе основана вся технология предварительного напряжения железобетона: чтобы бетон лучше работал на растяжение, его предварительно укорачивают. Это едва ли не единственный случай, когда строительная техника использует более передовые методы, нежели машиностроение. Предварительно напряженные конструкции применяются в машиностроении еще очень редко, между тем использование этого приема могло бы дать колоссальные результаты.

Как, например, сделать вал прочнее, не увеличивая его наружный диаметр? Решение этой задачи показано на рис. 15. Вал составлен из вставленных одна в другую труб, предварительно закрученных на определенные расчетом углы. Иными словами, вал предварительно получает деформацию, противоположную по знаку той деформации, какую он получает во время работы. Крутящий момент должен сначала снять эту предварительную деформацию, только после этого начнется деформация вала в «нормальном» направлении. Составной вал весит вдвое меньше равного ему по прочности обычного монолитного.

10. Принцип предварительного исполнения

- а) Заранее выполнить требуемое изменение объекта (полностью или хотя бы частично).
- б) Заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие с наиболее удобного места и без затрат времени на их доставку.

Примеры. Авторское свидетельство № 61056. Черенки многих плодово-ягодных и других культур, посаженные в почву, не укореняются вследствие недостатка питательных веществ в черенке. По данному изобретению предлагается создавать запас питательных веществ заранее, насыщая перед посадкой черенки в ванне с питательной смесью

Авторское свидетельство № 162919. Способ снятия гипсовых повязок с помощью проволоочной пилы, отличающийся тем, что с целью предупреждения травм и облег-



Рис. 15. Принцип предварительного напряжения: трубы составного вала заранее скручены в направлении, противоположном рабочей деформации.

чения снятия повязки пилу помещают в предварительно смазанную подходящей смазкой трубку, выполненную, например, из полиэтилена, и заранее загипсовывают под повязку при ее наложении. Благодаря этому распиливать повязку можно от тела наружу — без опасения задеть тело.

Любопытный случай использования этого же принципа — окраска древесины до того, как дерево срубили: красители поступают под кору дерева и разносятся соками по всему стволу.

11. Принцип «заранее подложенной подушки»

Компенсировать относительно невысокую надежность объекта заранее подготовленными аварийными средствами.

Примеры. Авторское свидетельство № 264626. Способ снижения токсического действия химических соединений с помощью присадок, отличающийся тем, что с целью уменьшения опасности отравления химическими веществами, а также продуктами их превращений в организме присадки добавляют непосредственно в исходные токсичные химические соединения при их изготовлении.

Авторское свидетельство № 297361. Способ предотвращения распространения лесного пожара посредством создания заградительных полос из растений, отличающийся тем, что с целью придания огнестойкости растениям, образующим заградительную полосу, в почву вносят биологические усваиваемые или химические элементы, тормозящие процесс их воспламенения.

Патент США № 2879821: жесткий металлический диск, заранее расположенный внутри автомобильной шины и позволяющий продолжать движение на спущенной шине без повреждения покрышки.

Принцип «заранее подложенной подушки» можно использовать не только для повышения надежности. Вот характерный пример. В связи с тем что в американских библиотеках часто пропадают книги, изобретатель Эмануэль Трикилис предложил прятать в переплеты кусо-

чек намагниченного металла. При выдаче книги библиотекарь размагничивает этот металлический вкладыш, проталкивая книгу под специальной электрической спиралью. Если посетитель попытается уйти, взяв незарегистрированную книгу, то спрятанный в двери прибор реагирует на магнитный вкладыш в переплете.

Горноальпийская спасательная станция в Швейцарии применила аналогичный метод для быстрого обнаружения людей, попавших в снежную лавину. Теперь лыжник или житель местности, в которой часты лавины, носит небольшой магнит. При несчастном случае этот магнит помогает легко обнаружить пострадавшего с помощью искателя даже под трехметровым покровом снега.

12. Принцип эквипотенциальности

Изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать объект.

Примеры. Авторское свидетельство № 264679. Предложено устройство для перемещения пресс-форм в зоне пресса. Устройство выполнено в виде прикрепленной к столу пресса приставки с рольгангом.

Авторское свидетельство № 110661. Контейнеровоз, в котором груз не поднимается в кузов, а только приподнимается гидроприводом и устанавливается на опорную скобу. Такая машина работает без крана и перевозит значительно более высокие контейнеры.

13. Принцип «наоборот»

а) Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие (например, не охлаждать объект, а нагревать).

б) Сделать движущуюся часть объекта (или внешней среды) неподвижной, а неподвижную — движущейся.

в) Перевернуть объект «вверх ногами».

Примеры. Авторское свидетельство № 184649. Способ вибрационной очистки металлоизделий в абразивной среде, отличающийся тем, что с целью упрощения процесса очистки движения вибрации сообщают обрабатываемой детали.

Авторское свидетельство № 109942. Это изобретение решает важную проблему отливки крупногабаритных тонкостенных деталей. При отливке таких деталей желательно, чтобы металл поступал в форму сверху и затвердение шло снизу вверх. Но лить металл в форму («дождевой»

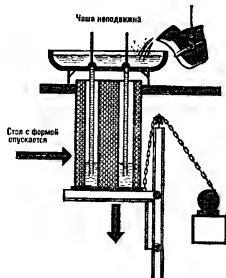


Рис. 16 Принцип «наоборот»: в отличие от обычного способа заливки, движется форма, а поступающий в нее металл остается неподвижным.

способ) допустимо с высоты не более пятнадцати сантиметров, иначе металл сгорит или пропитается газами. А как быть, если форма имеет высоту два-три метра? Если подавать металл снизу, то первые порции его затвердеют, не успев подняться к верхней части формы.

Изобретатель решил эту задачу просто и изящно: металл идет по трубкам, опущенным ко дну литейной формы. По мере заполнения форма движется вниз, и, таким образом, каждая порция металла подается именно туда, где она должна застыть (рис. 16).

Литье всегда осуществлялось так, что двигался металл, а форма была неподвижной. Здесь все наоборот: движется форма, а залитый в нее металл остается неподвижным. Это позволило «совместить несовместимое»: плавность заполнения формы и затвердевание металла снизу вверх, как при литье «дождевым» способом.

14. Принцип сфероидальности

- Перейти от прямолинейных частей объекта к криволинейным, от плоских поверхностей к сферическим, от частей, выполненных в виде куба или параллелепипеда, к шаровым конструкциям.
- Использовать ролики, шарики, спирали.
- Перейти к вращательному движению, использовать центробежную силу.

Примеры. Патент ФРГ № 1085073. Устройство для сварки труб в трубную решетку, в котором электродами служат катящиеся шарики.

Авторское свидетельство № 262045. Исполнительный орган проходческого комбайна, включающий породоразрушающие электроды, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности разрушения крепких

горных пород породоразрушающие электроды выполнены в виде свободно вращающихся клиновых роликов, установленных на изолирующей оси.

Авторское свидетельство № 260874. Способ отделения нитей корда от резины, например, в каркасе изношенных покрышек, включающий выдержку покрышки в углеводородах, обработку ее высоконапорными струями жидкости, механическое расчесывание нитей и их обрезку, отличающийся тем, что с целью повышения производительности труда обработку полупокрышки ведут в процессе ее вращения со скоростью, ослабляющей связь между частицами резины.

15. Принцип динамичности

- а) Характеристики объекта (или внешней среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы.
- б) Разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга.

Примеры. Авторское свидетельство № 317390. Ласта плавательная резиновая, отличающаяся тем, что с целью обеспечения регулирования жесткости ее рабочей лопасти для различных по скорости и длительности плавания режимов она имеет внутренние продольные полости, весь объем которых заполнен инертной несжимаемой жидкостью, статическое давление которой, по необходимости, изменяется на берегу или под водой.

Авторское свидетельство № 161247. Транспортное судно, корпус которого имеет цилиндрическую форму, отличающееся тем, что с целью уменьшения осадки судна при полной загрузке его корпус выполнен из двух раскрывающихся, шарнирно сочлененных полуцилиндров.

Патент СССР № 174748. Автомобиль с шарнирно соединенными секциями рамы, которые могут поворачиваться при помощи гидроцилиндров. Такой автомобиль обладает повышенной проходимостью.

Авторское свидетельство № 162580. Способ изготовления полых кабелей с каналами, образованными трубками, скрученными с токоведущими жилами, с предварительным заполнением трубок веществом, удаляемым из них после изготовления кабеля. Чтобы упростить технологию, в качестве заполняющего вещества применяют парафин, который после изготовления кабеля расплавляют и выливают из трубок.

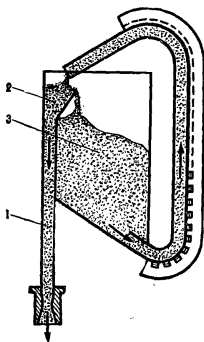


Рис. 17. Принцип избыточного решения: чтобы подавать порошок по трубке 1 равномерно, его насыпают в воронку 2 с избытком; лишний порошок высыпается в бункер 3, а воронка всегда заполнена до краев.

16. Принцип частичного или избыточного решения

Если трудно получить 100% требуемого эффекта, надо получить «чуть меньше» или «чуть больше». Задача при этом может существенно упроститься.

Примеры. Авторское свидетельство № 181897. Способ борьбы с градом, основанный на кристаллизации с помощью реагента (например, йодистого серебра) градового облака, отличающийся тем, что с целью резкого сокращения расхода реагента и средств его доставки осуществляют кристаллизацию не всего облака, а крупнокапельной (локальной) его части.

Авторское свидетельство № 262333. Устройство

для дозирования металлических порошков, содержащее бункер с дозатором, отличающееся тем, что с целью обеспечения равномерной подачи порошка к дозатору бункер снабжен внутренней приемной воронкой и каналом с электромагнитным насосом для подачи (с избытком) порошка к воронке (рис. 17).

17. Принцип перехода в другое измерение

- а) Трудности, связанные с движением (или размещением) объекта по линии, устраняются, если объект приобретает возможность перемещаться в двух измерениях (то есть на плоскости). Соответственно, задачи, связанные с движением (или размещением) объектов в одной плоскости, устраняются при переходе к пространству трех измерений.

- б) Многоэтажная компоновка объектов вместо одноэтажной.
- в) Наклонить объект или положить его «набок».
- г) Использовать обратную сторону данной площади.
- д) Использовать оптические потоки, падающие на соседнюю площадь или на обратную сторону имеющейся площади.

Примеры. Авторское свидетельство № 150938. Полупроводниковый диод отличающийся тем, что с целью увеличения мощности диода в нем применен профилированный электронно-дырочный переход и профилированный омический контакт без увеличения периметра полупроводниковой пластины. Переход от плоского контакта к объемному позволяет при прежних габаритах диода получить большую площадь пластины полупроводника и, следовательно, большую мощность, снимаемую с электронно-дырочного перехода.

Известный советский изобретатель Д. Киселев, долгое время работавший над совершенствованием долота для бурения нефтяных скважин, рассказывает в своей книге «Поиски конструктора»:

«В долоте также каждый подшипник обладает определенной грузоподъемностью, и если увеличить их число, дать меньшую нагрузку каждому, можно улучшить условия их работы, предотвратить износ. Именно по этому пути шла все время моя мысль в поисках различных схем размещения подшипников. Но мешали габариты долота, малое пространство, на котором я имел возможность располагать необходимое мне количество шариков и роликов. Теперь же я вдруг увидел решение, вот оно, рядом. На одном и том же участке поверхности можно разместить большее количество «элементов» подшипников в два яруса, как размещаются люди и вещи в купе пассажирских вагонов. Я даже рассмеялся: так просто было это решение, тщетно разыскиваемое много месяцев».

Авторское свидетельство № 180555. Способ механизации обмена вагонеток в горизонтальном проходческом забое, отличающийся тем, что с целью устранения подрыва кровли и устройства разъездов обмен груженных вагонеток на порожние производят посредством перенесения порожней вагонетки с возможным поворотом ее на угол в 90° над составом под погрузку.

Авторское свидетельство № 259449. Устройство для магнитографической дефектоскопии, отличающееся тем, что с целью повышения срока службы кольцевая магнитная лента выполнена с двусторонним магниточувствительным покрытием и изогнута в виде листа Мёбиуса.

Авторское свидетельство № 244783. Теплица для круглогодичного выращивания овощных культур, отличающаяся тем, что с целью улучшения светового режима растений за счет использования солнечных лучей она снабжена вогнутым отражательным экраном, установленным поворотом с северной стороны теплицы.

18. Использование механических колебаний

- а) Привести объект в колебательное движение.
- б) Если такое движение уже совершается — увеличить его частоту (вплоть до ультразвуковой).
- в) Использовать резонансную частоту.
- г) Применить вместо механических вибраторов пьезовибраторы.
- д) Использовать ультразвуковые колебания в сочетании с электромагнитными полями.

Примеры. Авторское свидетельство № 220380. Способ виброплавки наплавки и сварки деталей под слоем флюса с низкочастотными колебаниями электрода, отличающийся тем, что с целью повышения качества наплавленного металла на низкочастотные колебания электрода накладывают высокочастотные ультразвуковые колебания порядка, например, 20 кгц

Авторское свидетельство № 307896. Способ безопилочного резания древесины при помощи изменяющего свои геометрические размеры режущего инструмента, отличающийся тем, что с целью снижения усилия внедрения инструмента в древесину резание осуществляют инструментом, частота пульсации которого близка к собственной частоте колебаний перерезаемой древесины.

Патент США № 3239283. Трение покоя резко снижает чувствительность тонких приборов, мешает стрелкам, маятникам и другим подвижным частям легко поворачиваться в подшипниках. Чтобы избежать этого, подшипники заставляют вибрировать, и элементы прибора все время совершают осциллирующие движения относительно друг друга. В качестве источника вибрации обычно используют электромотор. При этом кинематика прибора существенно усложняется, а вес увеличивается. Амери-

канские изобретатели Джон Броз и Вильям Лаубендорфер разработали конструкцию подшипника, в котором втулки выполняются из пьезоэлектрического материала, и с обеих сторон покрываются тонкой электропроводной фольгой. К фольге припаиваются электроды, по которым подводится переменный ток, создающий вибрацию.

Авторское свидетельство № 244272. Способ осаждения пыли с использованием магнитного поля, отличающийся тем, что... воздух подвергают одновременному воздействию акустического и магнитного полей.

19. Принцип периодического действия

- а) Перейти от непрерывного действия к периодическому (импульсному).
- б) Если действие уже осуществляется периодически — изменить периодичность.
- в) Использовать паузы между импульсами для осуществления другого действия.

Примеры. Авторское свидетельство № 267772. Известен способ исследования процесса дуговой сварки с использованием дополнительного осветителя. Однако при дополнительном освещении наряду с улучшением видимости твердого и жидкого материала, находящегося в области дуги, ухудшается видимость плазменно-газовой фазы столба дуги (явное техническое противоречие!). Предложенный способ отличается тем, что яркость дополнительного осветителя периодически изменяют от нуля до величины, превышающей яркость дуги. Это позволяет совместить наблюдение как за самой дугой, так и за процессом плавления электрода и переноса металла.

Авторское свидетельство № 302622. Способ контроля исправности термопары путем подогрева ее и проверки наличия в цепи э. д. с., отличающийся тем, что с целью уменьшения времени контроля нагревают термопару периодическими импульсами тока, а в промежутки времени между импульсами проверяют наличие термо э. д. с.

20. Принцип непрерывности полезного действия

- а) Вести работу непрерывно (все части объекта должны все время работать с полной нагрузкой).
- б) Устранить холостые и промежуточные ходы

Примеры. Авторское свидетельство № 126440. Способ многоствольного бурения скважин двумя комплектами труб. При одновременном бурении двух-трех скважин

применяются ротор с несколькими стволами, включаемыми в работу независимо друг от друга, и два комплекта бурильных труб, поочередно поднимаемых и опускаемых в скважины для смены отработанных долот. Операции по смене долот совмещаются во времени с автоматическим бурением в одной из скважин.

Авторское свидетельство № 268926. Способ транспортировки сахара-сырца на судах, отличающийся тем, что с целью снижения стоимости транспортировки путем утилизации свободных пробегов используют танкеры, которые после разгрузки от нефтепродуктов или других жидких грузов, очистки и обработки моющими средствами загружают сахаром-сырцом.

21. Принцип проскока

Вести процесс или отдельные его этапы (например, вредные или опасные) на большой скорости.

Примеры. Авторское свидетельство № 241484. Способ скоростного нагрева металлических заготовок в потоке газа, отличающийся тем, что с целью повышения производительности и уменьшения обезуглероживания газ подают со скоростью не менее 200 м/сек, при сохранении потока постоянным на всем протяжении его контакта с заготовками.

Авторское свидетельство № 112889. При разгрузке палубного лесовоза его накрывают с помощью судна-кренователя. Чтобы в воду свалился весь лес, приходится создавать большой крен лесовоза, а это опасно. Предлагаемый способ состоит в том, что лесовоз быстро («рывком») накрывают на небольшой угол. Возникает динамическая нагрузка, и лес разгружается при небольшом угле крена.

Патент ФРГ № 1134821. Устройство для разрезания тонкостенных пластмассовых труб большого диаметра. Особенность устройства — нож рассекает трубу так быстро, что она не успевает деформироваться.

22. Принцип «обратить вред в пользу»

- а) Использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта.
- б) Устранить вредный фактор за счет сложения с другим вредным фактором.
- в) Усилить вредный фактор до такой степени, чтобы он перестал быть вредным.

Примеры. Член-корреспондент Академии наук

СССР П. Вологдин в статье «Путь ученого» («Ленинградский альманах», 1953, № 5) писал, что еще в двадцатых годах он задался целью применить токи высокой частоты для нагрева металла. Опыты показали, что металл нагревается лишь с поверхности. Ток высокой частоты никак не удавалось «загнать» в глубь заготовки, и опыты прекратили. Впоследствии Вологдин не раз сожалел, что не использовал этот «отрицательный эффект»: промышленность могла бы получить метод высокочастотной закалки стальных деталей на много лет раньше, чем он был предложен в действительности.

По-иному сложилась судьба другого выдающегося изобретения — электронской обработки металла.

Б. Р. Лазаренко и И. Н. Лазаренко работали над проблемой борьбы с электроэрозией металлов. Электрический ток «разъедал» металл в месте соприкосновения контактов реле, и с этим ничего не удавалось сделать. Были испробованы твердые и сверхтвердые сплавы — и все безрезультатно. Исследователи пытались помещать контакты в различные жидкости, но разрушение шло еще интенсивнее.

Однажды изобретатели поняли, что этот «отрицательный эффект» можно где-то применить с пользой, и вся работа пошла теперь в другом направлении. 3 апреля 1943 года изобретатели получили авторское свидетельство на электронский способ обработки металла.

Авторское свидетельство № 142511. На рис. 18, А показано подвижное соединение двух частей щековой дробилки. Подвижность достигается благодаря сферической форме чугунного наконечника. Шейка этого наконечника — самое слабое место конструкции, здесь обычно и происходит излом. Можно, конечно, принять меры для предотвращения излома. Ну а если мы заранее умышленно «сломаем» наконечник? Тогда он превратится в цилиндрическую втулку, которую уже невозможно сломать (рис. 18, Б).

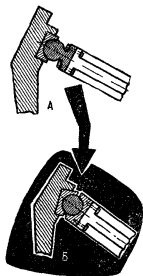


Рис. 18 Принцип «обратить вред в пользу».

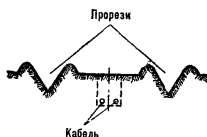


Рис. 19 Искусственные «трещины» — прорезы предохраняют кабельную линию от морозобойных трещин.

Авторское свидетельство № 152492. Для защиты подземных кабельных линий от повреждений, вызываемых образованием в грунте морозобойных трещин, заранее прорывают узкие прорезы («трещины») в стороне от трассы кабеля (рис. 19).

Сам по себе этот принцип прост: надо допустить то, что кажется недопустимым, — пусть случится! Но тут мысль изобретателя ча-

сто наталкивается на психологический барьер...

23. Принцип обратной связи

а) Ввести обратную связь.

б) Если обратная связь есть — изменить ее.

Примеры. Авторское свидетельство № 283997. Внутри градирни ветер образует циркуляционные зоны, что снижает глубину охлаждения воды. Чтобы повысить эффективность охлаждения, в секциях градирни устанавливают температурные датчики и по их сигналам автоматически изменяют количество подаваемой воды.

Авторское свидетельство № 167229. Способ автоматического запуска конвейера, отличающийся тем, что с целью экономии электроэнергии, потребляемой в момент запуска конвейерного двигателя, измеряют мощность, потребляемую двигателем конвейера во время работы, фиксируют ее в момент остановки конвейера и полученный сигнал, обратно пропорциональный весу материала на конвейере, подают на пусковой двигатель в момент запуска конвейера.

Авторское свидетельство № 239245. Способ автоматического регулирования процесса ректификации путем воздействия на расход орошения в колонию в зависимости от температуры и давления на выходе продукта, отличающийся тем, что с целью стабилизации содержания одного из компонентов в трехкомпонентной смеси дополнительно вводят коррекцию по удельному весу выходного продукта.

24. Принцип «посредника»

Использовать промежуточный объект-переносчик.

Примеры. Авторское свидетельство № 177436. Способ подвода электрического тока в жидкий металл, отличающийся тем, что с целью снижения электрических потерь ток к основному металлу подводят охлаждаемыми электродами через промежуточный жидкий металл, температура плавления которого ниже, а плотность и температура кипения выше, чем у основного металла.

Авторское свидетельство № 178005. Способ нанесения летучего ингибитора атмосферной коррозии на защищаемую поверхность, отличающийся тем, что с целью получения равномерного покрытия внутренних поверхностей сложных деталей через последние продувают нагретый воздух, насыщенный парами ингибитора.

25. Принцип самообслуживания

а) Объект должен сам себя обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции

б) Использовать отходы (энергии, вещества).

Примеры. Авторское свидетельство № 261207. Дробеметный аппарат, корпус которого облицован изнутри износоустойчивыми плитами, отличающийся тем, что с целью повышения стойкости облицовки плиты выполнены в виде магнитов, удерживающих на своей поверхности защитный слой дробы. На стенках дробемета возникает, таким образом, постоянно обновляемый защитный слой дробы.

Авторское свидетельство № 307584. Способ сооружения каналов оросительных систем из сборных элементов, отличающийся тем, что с целью упрощения транспортировки изделий после монтажа начального участка канала его торцы закрывают временными диафрагмами, готовый участок канала затопляют водой и последующие элементы, также закрытые с торцов временными диафрагмами, сплавляют по этому участку канала.

Авторское свидетельство № 108625. Способ охлаждения полупроводников диодов, отличающийся тем, что с целью улучшения условий теплообмена применяется полупроводниковый термоэлемент, рабочим током которого является ток, проходящий через диод в прямом направлении.

26. Принцип копирования

а) Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии.

- б) Заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изображениями). Использовать при этом изменение масштаба (увеличить или уменьшить копии).
- в) Если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным или ультрафиолетовым.

Примеры. Авторское свидетельство № 86560. Наглядное учебное пособие по геодезии, выполненное в виде написанного на плоскости художественного панно, отличающееся тем, что с целью последующей геодезической съемки с панно изображения местности оно выполнено по данным тахеометрической съемки и в характерных точках местности снабжено миниатюрными геодезическими рейками.

Иногда необходимо (для измерений или контроля) совместить два объекта, которые физически совместить невозможно. В этих случаях целесообразно применять оптические копии. Так была, например, решена задача пространственных измерений на рентгеновских снимках. Обычный рентгеновский снимок не позволяет определить, на каком расстоянии от поверхности тела находится очаг заболевания. Стереоскопические снимки дают объемное изображение, но и в этом случае измерения приходится вести на глаз: ведь внутри тела нет масштабной линейки! Нужно, таким образом, «совместить несовместимое»: тело человека, подвергнутого просвечиванию, и масштабную линейку.

Новосибирский изобретатель Ф. И. Аксенов решил эту задачу, применив метод оптического совмещения. По способу Ф. И. Аксенова стереоскопические рентгеновские снимки совмещаются со стереоскопическими же снимками решетчатого куба. Рассматривая в стереоскоп совмещенные снимки, врач видит «внутри» больного решетчатый куб, играющий роль пространственного масштаба.

Вообще, во многих случаях выгоднее оперировать не с объектами, а с их оптическими копиями. Например, канадская фирма «Крютер Палп» пользуется специальной фотоустановкой для обмера бревен, перевозимых на железнодорожных платформах. По данным фирмы, фотографический обмер балансов раз в 50—60 быстрее ручного, отклонение же результатов фотообмера от данных точного подсчета не превышает 1—2%.

Еще один интересный пример:

Авторское свидетельство № 180829 — новый способ контроля поверхности внутренних полостей сферических деталей. В деталь наливают малоотражающую жидкость и, последовательно меняя ее уровень, производят фотографирование на один и тот же кадр цветной пленки. На снимке получаются концентрические окружности. Сравнивая после увеличения (в проекционной системе) полученные этим способом линии с теоретическими линиями чертежа, с большой точностью определяют величину отклонения формы детали.

27. Дешевая недолговечность взамен дорогой долговечности

Заменить дорогой объект набором дешевых объектов, поступившись при этом некоторыми качествами (например, долговечностью).

Примеры. Правила асептики требуют, чтобы кипячение шприца с иглами для инъекции продолжалось не менее 45 минут. Между тем во многих случаях бывает необходимо ввести лекарство как можно быстрее. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте медицинских инструментов и оборудования создан шприц-тюбик для одноразового пользования. Это тонкостенный сосуд из пластмассы, на горловине которого укреплена стерильная игла, защищенная колпачком. Корпус шприца-тюбика в заводских условиях заполняется лекарственным препаратом и запаивается. Такой шприц можно привести в готовность буквально за считанные секунды — для этого достаточно лишь снять колпачок, прикрывающий иглу. Во время инъекции лекарство из тюбика выдавливается, после чего использованный шприц-тюбик выбрасывают.

Патент США № 3430629. Пеленка одноразового использования. Содержит наполнитель типа промокашки.

Существует много патентов такого типа: на одноразовые термометры, мусорные мешки, зубные щетки и т. д.

28. Замена механической схемы

- а) Заменить механическую схему оптической, акустической или «запаховой».
- б) Использовать электрические, магнитные и электромагнитные поля для взаимодействия с объектом.
- в) Перейти от неподвижных полей к движущимся, от фиксированных — к меняющимся во времени,

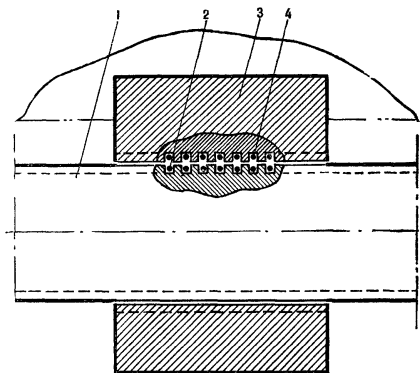


Рис. 20 В этой винтовой паре гайка движется без трения, за счет взаимодействия электромагнитных полей.

от неструктурных — к имеющим определенную структуру.

г) Использовать поля в сочетании с ферромагнитными частицами

Примеры. Авторское свидетельство № 163559. Способ контроля износа породоразрушающего инструмента, например буровых долот, отличающийся тем, что с целью упрощения контроля в качестве сигнализации износа применяют монтируемые в теле долота ампулы с резко пахучими химическими веществами, например с этилмеркаптаном.

Авторское свидетельство № 154459. Незнашиваемая винтовая пара (рис. 20). Винтовая пара состоит из винта 1, в резьбу которого уложена обмотка 2, и гайки 3 с обмоткой 4. Винт и гайка расположены с зазором между ними. Гайка 3 жестко связана с подвижным узлом станка или прибора. При прохождении тока по обмот-

кам 2 и 4 вокруг них создаются магнитные поля. Замыкание этих полей происходит соответственно через гайку и винт, причем магнитный поток достигает максимальной величины при совмещении витков винта и гайки.

При вращении винта магнитный поток между сместившимися один относительно другого витками обмоток винта и гайки искривляется и, как следствие, возникает усилие, стремящееся восстановить первоначальное взаимное расположение витков. Это усилие и будет вызывать поступательное перемещение гайки с подвижным узлом.

Наличие зазора между винтом и гайкой позволяет значительно продлить срок службы винтовой пары, сделать их практически неизнашиваемыми.

«На одном заводе делали сверхъювелирную по тонкости работу: шлифовали стенки отверстия диаметром в полмиллиметра.

Для такой операции изготовили миниатюрный шлифовальный диаметр в две десятых миллиметра, обсыпанный алмазной пылью.

Инструментик этот вращала пневматическая турбина со скоростью 1000 оборотов в секунду! Кроме того, шлифовальный диаметр двигался по контуру отверстия, обходя его каждую минуту 150 раз. Рабочий был не в силах проникнуть взглядом в зону обработки, не мог уловить момент, когда крохотный инструмент касался детали. Рабочий то затягивал процесс обработки, то кончал его слишком рано, в обоих случаях детали шли в брак.

Собирались уже конструировать уникальный станок-автомат. Но изобретательская мысль нашла простой выход: деталь изолировали от станка, присоединили к ней один полюс электробатарейки, а другой полюс подвели к станку. В цепь включили усилитель и громкоговоритель. Теперь, как только инструмент касался детали, громкоговоритель «вскрикивал». Кричащий станок издавал звуки, по которым можно было судить и о том, когда началась шлифовка, и о том, как она проходит, — тональность звука менялась»¹.

Авторское свидетельство № 261372. Способ проведения процессов, например каталитических, в системах с движущимся катализатором, отличающийся тем,

¹ «Техника — молодежи», 1965, № 6, стр. 6.

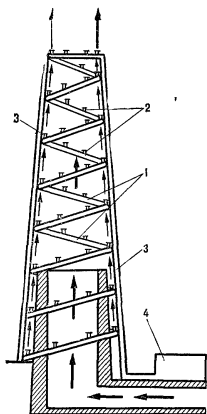


Рис. 21. Вместо массивной дымовой трубы — ажурное сооружение: полая спираль, имеющая на витках сопла, через которые подается сжатый воздух, образующий «стенку».

что с целью расширения области применения создают движущееся магнитное поле и применяют катализатор с ферромагнитными свойствами.

Авторское свидетельство № 144500. Способ интенсификации теплообмена в трубчатых элементах поверхностных теплообменников... отличающийся тем, что с целью повышения коэффициента теплоотдачи в поток теплоносителя вводят ферромагнитные частицы, перемещающиеся под действием вращающегося магнитного поля преимущественно у стенок теплообменника, для разрушения и турбулизации пограничного слоя.

Французский патент № 1499276. После обработки деталей в галтовочных барабанах или вибрационных установках детали нужно отделить от абразивных зерен. Если детали крупные, это сделать нетрудно, если они ферромагнитные, их можно выловить на магнитных

сепараторах. Но если детали не обладают магнитными свойствами, а по размерам не отличаются от абразивных зернышек? По данному изобретению задача решается тем, что абразиву придают магнитные свойства. Это можно сделать спрессовыванием или спеканием смеси абразивных зерен и магнитных частиц — стружек, крупинок и т. п., а также внедрением их в поры абразивов.

29. Использование пневмоконструкций и гидроконструкций

Вместо твердых частей объекта использовать газообразные и жидкие: надувные и гидронаполняемые,

воздушную подушку, гидростатические и гидрореактивные.

Примеры. Авторское свидетельство № 243809. Цель изобретения — улучшение тяги и увеличение высоты рассеивания отводимых газов. Это достигается тем, что корпус трубы (рис. 21) образован конической спиралью 1, полые витки которой имеют сопла 2 и соединены с полыми опорами 3, свободные концы которых, в свою очередь, присоединены к компрессору 4.

При включении компрессора 4 воздух, поднимаясь под давлением по опорам 3, попадает в спиральные витки корпуса 1 и, вырываясь из сопел 2, создает воздушную «стенку».

Авторское свидетельство № 312630. Способ окраски крупногабаритных изделий распылением с удалением паров растворителя и окрасочного тумана через вентиляционную засасывающую систему, отличающийся тем, что с целью уменьшения производственных площадей вокруг окрашиваемого изделия создают восходящую на высоту, превышающую высоту изделия, воздушную завесу, верхние концы которой завихряют посредством напольной вентиляционной засасывающей системы.

Изобретение это преодолевает такое же техническое противоречие, что и в предыдущем случае. Поэтому похожи и решения: пневмостенка вместо жесткой трубообразной ограды.

Авторское свидетельство № 264675. Опора для сферического резервуара, включающая основание, отличающаяся тем, что с целью снижения напряжений в оболочке резервуара основание опоры выполнено в виде заполненного жидкостью сосуда с вогнутой крышкой из эластичного материала, принимающей форму опираемой на нее оболочки резервуара.

А вот двойник этого изобретения — авторское свидетельство № 243177. Устройство для передачи усилий от опоры копра на фундамент, отличающееся тем, что с целью обеспечения равномерности передачи давления на фундамент оно выполнено в виде плоского замкнутого сосуда, заполненного жидкостью.

Интересно, сколько еще авторских свидетельств будет выдано на применение одного и того же типового приема: если А должно давить на Б равномерно, положи между А и Б жидкостную подушку...

30. Использование гибких оболочек и тонких пленок.

- а) Вместо объемных конструкций использовать гибкие оболочки и тонкие пленки.
- б) Изолировать объект от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких пленок.

Примеры. Чтобы уменьшить потери влаги, испаряющейся через листья деревьев, американские исследователи опрыскивают их полиэтиленовым «дождем». На листьях создается тончайшая пластмассовая пленка. Растение, укрытое пластмассовым одеялом, развивается нормально благодаря тому, что полиэтилен значительно лучше пропускает кислород и углекислый газ, чем пары воды.

Авторское свидетельство № 312826. Способ экстракции в системе жидкость — жидкость, отличающийся тем, что с целью интенсификации процесса массообмена струю одной фазы подают через слой газа на поверхность другой фазы, перемещаемой пленкой по твердой поверхности.

31. Применение пористых материалов

- а) Выполнить объект пористым или использовать дополнительные пористые элементы (вставки, покрытия и т. п.).
- б) Если объект уже выполнен пористым, предварительно заполнить поры каким-то веществом.

Машины всегда строились из плотных (непроницаемых) материалов. Инерция мышления приводит к тому, что задачи, легко решаемые при использовании пористых материалов, зачастую пытаются решить введением специальных устройств и систем, сохраняя все элементы конструкции непроницаемыми. Между тем высокоорганизованной машине присуща проницаемость — примером может служить любой живой организм, начиная с клетки и кончая человеком.

Внутреннее перемещение вещества — одна из важных функций многих машин. «Грубая» машина осуществляет эту функцию с помощью труб, насосов и т. п., «тонкая» машина — с помощью пористых материалов и молекулярных сил.

Примеры. Авторское свидетельство № 262092. Способ защиты внутренних поверхностей стенок емкости от отложений твердых или вязких частиц из находящегося в емкости продукта, отличающийся тем, что с целью

повышения эффективности защиты и снижения энергозатрат внутрь емкости, изготовленной из пористого материала, подают через ее стенки не образующую отложений жидкость под давлением, превосходящим давление внутри емкости.

Авторское свидетельство № 283264. Способ внесения добавок в жидкий металл с помощью огнеупорных материалов, отличающийся тем, что с целью улучшения режима внесения добавок в металл погружают пористый огнеупор, предварительно пропитанный материалом добавки.

Авторское свидетельство № 187135. Система испарительного охлаждения электрических машин, отличающаяся тем, что с целью исключения необходимости подвода охлаждающего агента к машине активные части и отдельные конструктивные элементы ее выполнены из пористых металлов, например пористых порошковых сталей, пропитанных жидким охлаждающим агентом, который при работе машины испаряется и таким образом обеспечивает кратковременное, интенсивное и равномерное ее охлаждение.

32. Принцип изменения окраски

- а) Изменить окраску объекта или внешней среды.
- б) Изменить степень прозрачности объекта или внешней среды.
- в) Для наблюдения за плохо видимыми объектами или процессами использовать красящие добавки.
- г) Если такие добавки уже применяются, использовать меченые атомы.

Примеры. В кузнечных и литейных цехах, на металлургических заводах, всюду, где необходимо защитить рабочих от действия жары, применяются водяные завесы. Такие завесы отлично защищают рабочих от невидимых тепловых (инфракрасных) лучей, однако слепяще-яркие лучи от расплавленного металла беспрепятственно проходят сквозь тонкую жидкую пленку. Чтобы защитить рабочих и от них, сотрудники польского Института охраны труда предложили окрашивать воду, из которой создается водяная завеса,— оставаясь прозрачной, она полностью задерживает тепловые лучи и в нужной степени ослабляет силу видимого излучения¹.

¹ См. «Изобретатель и рационализатор», 1970, № 5, стр. 16.

Авторское свидетельство № 165645. В фиксирующий раствор вводят краситель, который обратимо абсорбируется фотографическим слоем и не закрашивает подложку-бумагу или целлулоид. Краситель при последующей промывке водой должен удаляться из слоя. Скорость вымывания красителя из фотографического слоя примерно равна скорости вымывания тиосульфата натрия или несколько меньше ее. Обесцвечивание фотографического изображения свидетельствует о полноте промывки слоя от остатков солей, при помощи которых производилось фиксирование фотографического материала.

33. Принцип однородности

Объекты, взаимодействующие с данным объектом, должны быть сделаны из того же материала (или близкого ему по свойствам).

Примеры. Патент ФРГ № 957599. Литейный желоб для обработки расплавленного металла звуком или ультразвуком с помощью звукоизлучателя, помещенного в расплавленный металл, отличающийся тем, что находящаяся в соприкосновении с расплавленным металлом часть звукоизлучателя выполнена из того же металла, что и обрабатываемый металл, или одного из его легирующих компонентов и частично расплавляется этим расплавленным металлом, а остальная часть звукоизлучателя принудительно охлаждается и остается прочной.

Авторское свидетельство № 234800. Способ смазывания охлаждаемого подшипника скольжения, отличающийся тем, что с целью улучшения смазывания при повышенных температурах в качестве смазывающего вещества берут тот же материал, что и материал вкладыша подшипника.

Авторское свидетельство № 180340. Способ очистки газов от пыли, содержащей расплавленные частицы, отличающийся тем, что с целью повышения эффективности процесса исходные газы барботируют в среде, образованной при слиянии этих же частиц в расплав.

Авторское свидетельство № 259298. Способ сварки металлов, при котором свариваемые кромки устанавливают с зазором и подают в него присадочный материал с последующим нагревом свариваемых кромок, отличающийся тем, что с целью улучшения сварки в качестве присадочного материала используют летучие соединения тех же металлов, что и свариваемые.

34. Принцип отброса и регенерации частей

а) Выполнившая свое назначение или ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена (растворена, испарена и т. п.) или видоизменена непосредственно в ходе работы.

б) Расходуемые части объекта должны быть восстановлены непосредственно в ходе работы.

Примеры. Патент США № 3174550. При аварийной посадке самолета бензин вспенивают с помощью специальных химических веществ, переводя в негорючее состояние.

Патент США № 3160950. Чтобы при резком старте ракеты не пострадали чувствительные приборы, их погружают в пенопласт, который, выполнив роль амортизатора, быстро испаряется в космосе.

Нетрудно заметить, что этот принцип — дальнейшее развитие принципа динамизации: объект изменяется в процессе действия, но изменяется сильнее. Самолет с меняющейся в полете геометрией крыла — это принцип динамизации. Ракета, отбрасывающая отработанные ступени, — принцип отброса.

А вот изобретения-близнецы:

Авторское свидетельство № 222322. Способ изготовления винтовых микропружин, отличающийся тем, что с целью повышения производительности оправку выполняют из эластичного материала и удаляют путем погружения ее вместе с пружиной в состав, растворяющий эластичный материал.

Авторское свидетельство № 235979. Способ изготовления резиновых шаров-разделителей, отличающийся тем, что с целью придания шару необходимых размеров ядро формуют из смеси измельченного мела с водой с последующей просушкой и разрушением твердого ядра после вулканизации жидкостью, вводимой с помощью иглы.

Авторское свидетельство № 159783. Способ производства полых профилей, отличающийся тем, что с целью получения разнообразных по размерам и форме профилей на сортовых станах прокатке подвергают сварные пакеты, наполненные огнеупорным материалом, например магнетитовым порошком, с последующим удалением наполнителя.

Можно привести сотни подобных изобретений. Трудно представить, сколько времени потеряли изобретатели

на поиски, каждый раз отыскивая идею «с нуля». А ведь здесь один типовой прием: изготавливай объект А на оправке Б, которую можно удалить растворением, испарением, плавлением, химической реакцией и т. д.

Антипод принципа отброса — принцип регенерации.

Авторское свидетельство № 182492. Способ компенсации износа непрофилированного электрода-инструмента при электроэрозионной обработке токопроводящих материалов, отличающийся тем, что с целью увеличения срока службы электрода-инструмента на его рабочую поверхность в процессе обработки непрерывно напыляют слой металла.

Авторское свидетельство № 212672. При гидротранспортировании кислых гидросмесей с абразивными материалами внутренние стенки трубопроводов быстро изнашиваются. Защита их футеровкой сложна, трудоемка, ведет к увеличению наружного диаметра труб. Описываемый способ защиты труб предусматривает образование на внутренних стенках трубы защитного слоя (гарниссажа). Для этого в транспортируемую гидросмесь периодически вводят известковый раствор. Таким образом, внутренние стенки трубопроводов всегда защищены от износа, а сечение трубопровода уменьшается незначительно, так как гарниссаж изнашивается под действием абразивной кислой смеси.

35. Изменение физико-химических параметров объекта

- а) Изменить агрегатное состояние объекта.
- б) Изменить концентрацию или консистенцию.
- в) Изменить степень гибкости.
- г) Изменить температуру.

Примеры. Авторское свидетельство № 265068. Способ проведения массообменных процессов в системе газ — вязкая жидкость, отличающийся тем, что с целью интенсификации процесса вязкую жидкость перед подачей в аппарат предварительно газифицируют.

Авторское свидетельство № 222781. Дозатор сыпучих материалов, например минеральных удобрений и ядохимикатов, выполненный в виде шнека, заключенного в кожух с выходным отверстием, отличающийся тем, что с целью возможности регулирования шага винтовая поверхность шнека выполнена из эластичного материала с пружинной спиралью на внутренней и наружной сторонах (рис. 22).

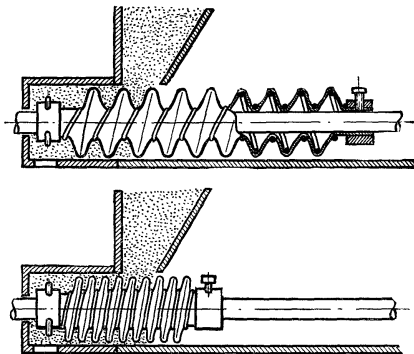


Рис. 22. В дозаторе сыпучих материалов шнек выполнен из эластичного материала с пружинной спиралью; это позволяет регулировать шаг шнека.

36. Применение фазовых переходов

Использовать явления, возникающие при фазовых переходах, например изменение объема, выделение или поглощение тепла и т. д.

Примеры. Авторское свидетельство № 190855. Способ изготовления ребристых труб, заключающийся в задаче заглушенных труб водой, подаваемой под давлением, отличающийся тем, что с целью удешевления и ускорения процесса изготовления поданную под давлением воду замораживают.

Может возникнуть вопрос: чем прием № 36 отличается от приемов № 35-а (изменение агрегатного состояния) и № 15 (принцип динамичности)? Прием № 35-а заключается в том, что вместо агрегатного состояния А объект используют в агрегатном состоянии Б и именно за счет особенностей состояния Б получают нужный результат.

Суть приема № 15 в том, что мы пользуемся то свой-

ствами, присущими состоянию А, то свойствами, присущими состоянию Б.

При использовании приема № 36 задача решается за счет явлений, связанных с переходом от А к Б или обратно. Если, например, мы наполним трубу не водой, а льдом, ничего с трубой не произойдет. Требуемый эффект достигается за счет увеличения объема воды при замерзании.

Авторское свидетельство № 225851. Способ охлаждения различных объектов с помощью циркулирующего по замкнутому контуру жидкого теплоносителя, отличающийся тем, что с целью уменьшения количества циркулирующего теплоносителя и снижения энергетических затрат часть теплоносителя переводят в твердую фазу и охлаждение ведут полученной смесью.

«Фазовые переходы» — понятие более широкое, чем «изменение агрегатного состояния». К фазовым переходам, в частности, относятся и изменения кристаллической структуры вещества. Так, олово может существовать в виде белого олова (плотность 7,31) и серого олова (плотность 5,75). Переход — при 18°С — сопровождается резким увеличением объема (значительно большим, чем при замерзании воды; поэтому и усилия здесь могут быть получены намного большие).

Полиморфизм (кристаллизация в нескольких формах) присущ многим веществам. Явления, сопровождающие полиморфные переходы, могут быть использованы при решении самых различных изобретательских задач. Например, в патенте США № 3156974 используются полиморфные трансформации висмута и церия¹.

37. Применение термического расширения

- а) Использовать термическое расширение (или сжатие) материалов.
- б) Если термическое расширение уже используется, применить несколько материалов с разными коэффициентами термического расширения.

Примеры. Авторское свидетельство № 309758. Способ волочения труб на подвижной оправке при пониженных температурах, отличающийся тем, что с целью создания зазора между трубой и оправкой после волоче-

¹ Подробнее см. «Изобретатель и рационализатор», 1966, № 4, стр. 25.

ния для извлечения последней из трубы без обкатки, в охлажденную трубу перед волочением вводят предварительно подогретую, например, до температуры 50—100° С оправку, извлечение которой после деформации производят после выравнивания температур трубы и оправки.

Авторское свидетельство № 312642. Заготовка для горячего прессования многослойных изделий, выполненных в виде концентрично расположенных втулок, изготовленных из различных материалов, отличающаяся тем, что с целью получения многослойных изделий с напряженными слоями каждая втулка изготовлена из материала, имеющего температурный коэффициент линейного расширения выше температурного коэффициента линейного расширения материала втулки, расположенной внутри нее.

Смысл приема — в переходе от «грубого» движения на макроуровне к «тонкому» движению на молекулярном уровне. С помощью термического расширения можно создавать большие усилия и давления. Термическое расширение позволяет очень точно «дозировать» движение объекта.

Авторское свидетельство № 242127. Устройство для микроперемещения рабочего объекта, например, кристаллодержателя с затравкой, отличающееся тем, что с целью обеспечения максимальной плавности оно содержит два стержня, подвергаемых электронагреву и охлаждению по заданной программе, находящихся в закрепленных на суппортах термостатируемых камерах и попеременно перемещающих объект в нужном направлении.

38. Применение сильных окислителей

- а) Заменить обычный воздух обогащенным.
- б) Заменить обогащенный воздух кислородом.
- в) Воздействовать на воздух или кислород ионизирующими излучениями.
- г) Использовать озонированный кислород.
- д) Заменить озонированный (или ионизированный) кислород озоном.

Основная цель этой цепи приемов — повысить интенсивность процессов. В качестве примеров можно назвать способ спекания и обжига дисперсного материала с применением интенсификации процесса горения путем продувки воздухом, обогащенным кислородом; плазменно-дуговую резку нержавеющей сталей, при которой в

качестве режущего газа берут чистый кислород; интенсификацию процесса агломерации руд путем ионизации окислителя и газообразного топлива перед подачей в слой шихты и т. д.

39. Применение инертной среды

- а) Заменить обычную среду инертной.
- б) Вести процесс в вакууме.

Этот прием можно считать антиподом предыдущего.

40. Применение композиционных материалов

Перейти от однородных материалов к композиционным.

Пример. Патент США № 3553820. Легкие прочные тугоплавкие изделия выполнены на основе алюминия и упрочнены множеством покрытых танталом волокон углерода. Такие изделия характеризуются высоким модулем упругости и используются в качестве материалов для конструирования кораблей воздушного и морского флотов.

Авторское свидетельство № 147225. Способ записи, при котором используют чернила, содержащие мелкие магнитные частицы. В отличие от обычных, магнитные чернила управляются магнитным полем.

Композиционные материалы — составные материалы, которые обладают свойствами, не присущими их частям. Например, пористые материалы, о которых шла речь в приеме № 31, представляют собой композицию из твердого вещества и воздуха; ни твердое вещество, ни воздух порознь не обладают теми свойствами, которые есть у пористых веществ.

Композиционные материалы изобретены природой и широко ею используются. Так, древесина представляет собой композицию целлюлозы с лигнином. Волокна целлюлозы обладают высокой прочностью на разрыв, но легко изгибаются. Лигнин связывает их в единое целое и сообщает материалу жесткость.

Интересный композиционный материал представляет сочетание легкоплавкого вещества (например, сплава Вуда) с волокнами тугоплавкого материала (например, стали). Такой материал легко плавится, а застыв, обладает высокой прочностью. Постепенно происходит взаимная диффузия частиц припоя и волокон, в результате чего образуется сплав с высокой температурой плавления.

Другой композиционный материал — взвесь частиц кремния в масле — способен твердеть в электрическом поле¹.

* * *

В статье Э. Долота и И. Клямкина «Обыкновенные эдисоны»² приведено любопытное высказывание актера Московского театра сатиры Лепко. Штампы, говорил Лепко, вовсе не помеха в творчестве, наоборот, это рабочее орудие артиста. Весь вопрос в том, насколько широк набор этих штампов. Слабый актер — три или четыре штампа, про него говорят, что он в каждой роли повторяет себя. Сильный, талантливый актер — пятьдесят штампов, сто, может быть...

Знание типовых приемов, этих «штампов» изобретательства, резко повышает эффективность творчества. Возьмем, например, конкретную задачу. Нужно, чтобы при стрельбе дробью заряд не разлетался в стороны, а шел узким конусом. Обычный путь повышения кучности боя — увеличение длины ствола. Но тут очевидное техническое противоречие: выиграешь в форме конуса разлета дроби, проиграешь в длине ствола. Как быть?

Если трудно догадаться сразу, давайте уберем термины «ствол» и «дробь». Какие-то частицы движутся по трубе, и пока стенки направляют движение частиц — все в порядке. Но трубу нельзя сделать слишком длинной, как же направлять полет частиц?

В этой задаче такое же техническое противоречие, как и при сооружении дымовых труб. Следовательно, здесь можно применить тот же прием (№ 29), что и в авторском свидетельстве № 243809: использовать вместо «твердой» конструкции пневмоконструкцию. Пусть частицы движутся в газовых «стенках». Именно так решена эта задача по японскому патенту № 44—20959. В коротком стволе имеются газовыпускные отверстия. На ствол надет кожух, обрез которого совпадает с обрезом ствола. При выстреле пороховые газы выходят в кольцевой канал между стволом и кожухом и выбрасываются в виде кольца, которое охватывает дробовой заряд.

Еще одна задача: как изготовлять волочением трубки

¹ Подробнее о композиционных материалах см. сб «Современные материалы». М., «Мир», 1970, стр. 116—132.

² «Молодой коммунист», 1972, № 1, стр. 52—58.

из нихрома с толщиной стенок около 0,01 мм при допуске в 0,003 мм? Для изобретателя, незнакомого с типовыми приемами, это задача примерно третьего уровня. Если же изобретатель овладел типовыми приемами, задача покажется ему очень легкой — никак не выше первого уровня. Прием № 34: «Изготавливай объект *A* на оправке *B*, которую можно удалить растворением, испарением, плавлением, химической реакцией и т. д.». И вот авторское свидетельство № 182661: «Способ изготовления тонкостенных трубок из нихрома, отличающийся тем, что... волочение... осуществляют на деформируемом алюминиевом стержне, удаляемом после обработки вытравливанием щелочью».

Современный изобретатель должен хорошо знать типовые приемы устранения технических противоречий. Без этого немыслима научная организация творческого процесса.

КАК РАБОТАЕТ АЛГОРИТМ

Изучение АРИЗ-71 мы еще продолжим в следующих главах, а пока проследим действие алгоритма на конкретной задаче.

Задача 5

Ледокол продвигается во льдах по принципу клина. Поэтому скорость продвижения и толщина доступных преодолению льдов зависят в основном от мощности энергетических установок ледокола. Путь развития ледоколов — это увеличение мощности их двигателей. У современного лайнера на 1 т водоизмещения приходится 0,5 л. с.; у ледоколов это отношение в 6 раз больше. До 70% длины корпуса ледокола занято двигательными установками, топливными емкостями (танками) и различными обслуживающими системами. Ледокол буквально заполнен «двигательной частью», охлаждение двигателей — сложная проблема.

«Периодическое нарушение работы охлаждающей системы в тяжелых ледовых условиях наблюдается на всех ледоколах, и эффективное решение этой проблемы пока не найдено. Например, из опыта американских ледоколов известно, что в ряде случаев не прочность льда, а прекращение подачи охлаждающей забортной воды ограничивает продвижение судна» (Юдовин Б. С. Энергетические установки ледоколов. М., «Судостроение», 1967, стр. 182).

«Двигательная часть» современных ледоколов настолько гипертрофирована, что на судне не остается места для размещения сколько-нибудь значительного количества грузов. Поэтому за ледоколом идет караван из трех-четырех транспортных судов. «Начало и продолжительность навигации в Арктике и в замерзающих портах определяет ледовая обстановка. Ведь принцип действия ледокола, стоит ли на нем паровая машина, как сто лет

назад, или новейший атомный реактор, почти не изменился. С разбега вползает он на преградившее путь ледяное поле и своим весом ломает его. Снова разбег, и снова несколько метров вперед. Надсадно ревут двигатели, скрежещет лед об обшивку. На почтительном расстоянии сзади стоит караван обычных судов, ждет, когда ледокол проложит путь. Но льды становятся толще и толще. Полтора, два, два с половиной метра! Ледокол застревает. Механики пускают машины «враздрай» — в разные стороны. Судно начинает «мотать носом», пытается освободиться от ледяного плена. Насосы перекачивают сотни тонн воды из носовых цистерн в кормовые, из левых цистерн — в правые. Ледокол качается с носа на корму, переваливается с боку на бок, разжимая, как клин, льдины... Дорога за ледоколом слишком тяжела для обычных судов. С трудом увертываются они от плавающих ледяных глыб, грозящих распороть им бока. Пространство перед причалами, а иногда и вся акватория порта превращаются в сплошную массу битого льда. Каждый день ледоколы добавляют новые порции. В результате лед смерзается, и вскоре толщина его становится в 2—3 раза больше первоначальной. Теперь уж и сам ледокол не в силах одолеть эту преграду. Такие случаи неоднократно наблюдали в Архангельском, в Ленинградском портах. Короче говоря, мечта капитанов — иметь ледокол, способный преодолевать льды любой толщины и, главное, оставляющий за собой не ледяное крошево, а чистый канал» (Муслин Е. Пушки и лед. «Знание — сила», 1968, № 5).

Известны различные способы облегчения продвижения сквозь льды. Издавна, например, применяется разрушение льда с помощью взрывчатых веществ. Недостатки этого способа — большой расход ВВ, низкая производительность, крайняя неэкономичность.

На небольших речных ледоколах устанавливают вибрационные установки. «Многотонные чугунные диски закрепляют на валах специальных машин, которые намертво привинчивают к носовой палубе. Едва только эта машина заработает, ледокол начинает трясти и раскачивать, его нос ходит ходуном, так что не только находиться там — со стороны глядеть страшно! Кажется, что вот-вот виброустройство вырвет «с мясом». Судно бьется о лед, словно в лихорадке, — лед в конце концов не выдер-

живает ударов, поддается» (Каневский З. Ледовая пахота. «Знание — сила», 1969, № 8).

Применение ВВ, вибрация — все это не дает существенного эффекта.

Нужно придумать способ, обеспечивающий быстрое продвижение ледоколов во льдах толщиной до 3 м. Способ должен быть экономичен и осуществим при современном уровне техники.

Сейчас мы не будем уточнять задачу — это входит в процесс решения по АРИЗ, введем лишь некоторые обязательные ограничения.

1. По условиям задачи транспортировку грузов по морю нельзя заменять; переброска их авиацией или железнодорожным транспортом отвергается.

2. Нельзя заменять корабль подводной лодкой. Подводные лодки имеют очень большую осадку в надводном положении. В Англии, например, спроектирован подводный танкер с осадкой в 18 м, его придется загружать и разгружать в открытом море.

Решать задачу надо применительно к кораблю водоизмещением в 5—20 тыс. т. Корабль должен иметь в свободной воде нормальную скорость (т. е. 18—20 узлов).

Решение задачи 5

Часть 1

1—1. а) Надо увеличить скорость движения каравана судов и ледокола во льдах.

б) Нельзя увеличивать мощность двигателей ледокола — эта возможность исчерпана.

в) Надо снизить стоимость транспортировки грузов в ледовых условиях.

г) Затраты должны быть ниже, чем при использовании лучших современных ледоколов.

д) Цель — снизить стоимость одного тонно-километра транспортировки груза.

1—2. Обходный путь — отказаться от ледокола. Ледокол — машина для изготовления канала во льдах. Если транспортные суда научатся ходить во льдах без канала, отпадет необходимость в ледоколе.

1—3. Итак, с ледоколом или самостоятельно?

а, в) В водном транспорте отчетливо проявляется тенденция к «само» (например, от буксируемых барж — к самоходным баржам).

б, г) Тенденция к «само» наблюдается и в сельхозмашиностроении (различные самоходные установки вместо прицепов), и в авиации (поэтому не были осуществлены многочисленные проекты прицепных пассажирских планеропоездов).

д) Обходная задача представляется значительно более трудной, в некотором смысле даже нереальной, дикой: мы хотим, чтобы транспортное судно шло во льдах быстрее ледокола... Но анализ свидетельствует в пользу обходной задачи. Выбираем ее.

1—4. Примем требуемую скорость во льдах равной 6 узлам (втрое больше, чем у существующих ледоколов), толщину льда — 3 м.

1—5. Поправка на время: скорость — 8 узлов, толщина льдов — до 3,5 м (практически это предельная величина).

1—6. То, что нам предстоит придумать, должно надежно работать в полярных условиях. Отсюда требование: как можно меньше подвижных механизмов и выступающих деталей (они смерзаются, ломаются льдами и т. п.).

Часть 2

2—1 а) Анализ патентной информации сразу выявляет чрезвычайно интересный факт: нет изобретений, относящихся к выбранному нами обходному пути. Свыше ста лет развитие ледоколов идет в рамках исходной схемы. Даже наиболее оригинальные изобретения последних лет не выходят за пределы этой схемы. Изобретатели из Ленинградского НИИ Арктики и Антарктики предложили разрушать лед системой фрез или импульсными водометами¹. В американском патенте № 3130701 предлагается заводить носовую часть ледокола под лед и взламывать лед снизу: опускание носовой части производится затоплением особых цистерн, а подъем — опорожнением этих цистерн и одновременной подачей воздуха в надувную емкость, расположенную под днищем ледокола. По патенту ФРГ № 1175103 предлагается в носовой части корабля устанавливать десятки бивней — «направленных вперед, изогнутых и спускающихся под лед стальных клиновидных плоскостей».

Совсем свежее предложение предусматривает, что «ис-

¹ Подробнее см. «НТО СССР», 1968, № 11, стр. 24—25.

полнительный орган выполнен в виде расположенных вдоль корпуса, регулируемых по высоте резцов, а в задней части корпуса шарнирно установлена стрела, на конце которой закреплена удаляющая разрушенный лед плита». Это уже не корабль, а специализированный агрегат по изготовлению канала во льдах...

Много авторских свидетельств и патентов выдано на различные устройства для удаления битого льда из-под днища ледокола и очистки канала. Предложено даже специальное ледоочистительное судно, оборудованное установками, направляющими лед под ледяное поле. Система «ледокол — караван» очень далека от идеальной машины: ледокол «возит самого себя», а тут добавится еще одно судно — только для обслуживания канала. Это явно отдаляет исходную схему от идеальной машины.

Патентный анализ, таким образом, подтверждает, что прямой путь ведет в тупик излишней специализации. Мы правильно сделали, отдав предпочтение обходному пути.

б) Мы решаем задачу о продвижении сквозь плотную среду; ведущая отрасль техники в данном случае — горная техника (проходка шахт, штреков, выемка угля, руды и т. п.). Лед — горная порода; посмотрим, как движутся машины в более плотных горных породах.

Здесь уже давно применяют водометы, гидромониторы. Идут эксперименты с различными электрофизическими способами разрушения угля, руды, камня. Используют нагревание токами высокой частоты, контактный электропробой, электрогидравлический эффект и т. п. К сожалению, применить какой-либо из этих методов в нашей задаче невозможно: слишком велик объем льда, который надо разрушать в единицу времени, чтобы обеспечить требуемую скорость движения судна.

в) Обратная задача — не разрушать, а укреплять лед. Решение — армирование льда. Такое решение явно не годится, а чтобы использовать его «с обратным знаком», нужно добавлять в лед что-то, уменьшающее его прочность. Но и этот путь не годится: потребуются слишком большой расход вещества-разрыхлителя.

2—2. Применим оператор РВС. Будем считать объектом корабль, а основным размером — его ширину (от длины мало что зависит).

а) Ширина корабля стремится к нулю. Допустим, она равна 1 мм. Корабль-лезвие?

б) Начнем теперь увеличивать ширину: 10 м, 100 м, 1000 м, 10 000 м... Все труднее и труднее двигать сквозь лед такую громаду. Положить корабль на бок?

в) Скорость движения корабля близка к нулю. В этом случае можно просто потихоньку растапливать лед. Расход топлива тоже будет стремиться к нулю.

г) Скорость повысилась до 50 узлов, 100 узлов... Корабль должен мчаться, как судно на подводных крыльях. Любой способ разрушения льда не годится — потребуются слишком большая мощность. Нужно придумать нечто, что позволит идти сквозь лед, не расходуя энергии. Как?

д) Допустимые расходы стремятся к нулю. Снова тот же вывод: не разрушать лед (за это всегда надо платить).

е) Если допустимы неограниченные расходы, задача легко решается: применить лазеры, пусть они пробивают дорогу сквозь лед.

2—3. Изложим задачу в двух фразах, убрав такие термины, как «ледокол», «ледорез» или «ледолом» (они заранее привязывают нас к какой-то технологии разрушения льда).

Итак, задача: «Дана система из корабля и льда. Корабль не может идти с большой скоростью сквозь лед». (Можно, вообще говоря, убрать и термин «корабль», но он достаточно широк и вряд ли сильно стеснит воображение.)

2—4. Корабль — технический объект, его можно изменять как угодно. Лед — природный объект, изменять его крайне трудно. Следовательно, надо корабль отнести к «а», лед — к «б».

2—5. Объектом для дальнейшего анализа будет **корабль**.

Вывод неожиданный: традиционные попытки решения задачи связаны с изменением льда: его ломают, режут, взрывают... Корабль кажется неизменным, мы привыкли к его определенной форме, а лед кажется легко изменяемым. На самом деле все наоборот. Чтобы расплавить один кубометр льда — все равно, чем: архисовременным лазером или простым огнем, — нужно затратить 80 000 ккал тепла (без учета потерь). Большое количество энергии нужно и для того, чтобы тем или иным способом искрошить кубометр льда. Куда проще разрушать

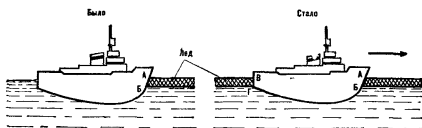


Рис. 23. К задаче 5, шаг 3—2. «Было» — корабль дошел до льда и остановился; «Стало» — тот же корабль каким-то образом движется сквозь лед

не лед, а корабли! Ведь корабль можно сделать легко-разрушаемым — это зависит от нас...

Мы пришли к весьма дикому выводу. Кто-то, может быть, уже подходил к этой мысли — и останавливался перед психологическим барьером.

Часть 3

3—1. Сформулируем идеальный конечный результат (ИКР): корабль сам идет сквозь лед с большой скоростью и с нормальным (как на чистой воде) расходом энергии.

3—2. На рис. 23: «Было» — корабль дошел до льда и остановился; «Стало» — тот же корабль каким-то образом движется сквозь лед.

3—3. Не может выполнить требуемого действия участок *АВ* носовой части корабля, упирающийся в лед. Можно ответить и по-другому: не может выполнить требуемого действия объем корпуса между *АВ* и *ВГ*.

3—4. а) Мы хотим, чтобы эта часть не упиралась в лед.

б) Она жесткая, твердая, сплошная — поэтому она и упирается.

в) Эта часть нужна для сохранения целостности корпуса и не нужна, чтобы не упираться в лед.

3—5. Поскольку эта часть нужна, придется сохранить ее. А поскольку она нам мешает, придется уменьшить ее до минимума.

3—6. Размеры этой части определяются толщиной льда и шириной корабля. Уменьшить толщину льда мы не можем. Остается уменьшать ширину корабля. Нам не надо, чтобы корабль был вообще плоским (рис. 24, а). Мы рассматриваем изменения той части корпуса, кото-

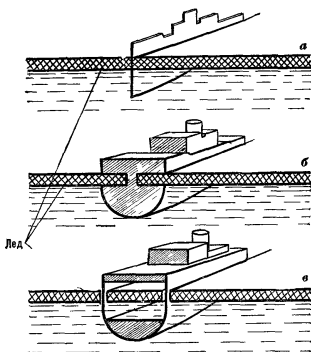


Рис. 24 Чем уже полоса разрушаемого льда, тем меньше расход энергии.

рая совпадает со слоем льда. Пусть эта часть будет плоской (24, б).

3—7 и 3—8. Получается неустойчивая форма. Чтобы корабль был устойчивым и плоским, нужны две плоскости, соединяющие верхнюю и нижнюю части корпуса (рис. 24, в).

Часть 4

4—1. Общая ширина стенок-лезвий в 20—25 раз меньше обычной ширины ледокола. Следовательно, можно рассчитывать на существенное уменьшение расхода энергии при движении во льдах. Конструкция корабля в целом упрощается (вследствие резкого снижения мощности двигателей). Усложняется решение второстепенных вопросов, например, передвижения людей между верхней и нижней частями при плавании во льдах.

4—2. Такого рода трудности могут быть сняты, если нижняя часть будет только грузовой. Например, танкерной.

4—3. Теперь в идее решения нет недостатков, при условии, что наш корабль будет хорошо двигаться и в чистой воде. Интересно отметить, что в обычном кораблестроении за последние годы тоже наметилась тенденция поднимать верхнюю часть корабля над волнами, а нижнюю часть (с двигателями) опустить вниз.

4—4. Современные ледоколы полностью исчерпали возможности своего развития: нельзя поставить на ледокол более мощные двигатели, чем те, какие уже стоят. Новая схема, по которой нужно разрушать как можно меньше льда, имеет только преимущества. Хотя нельзя не учитывать и некоторые моральные стороны перехода к новой схеме: психологическую инерцию, приверженность специалистов к привычному принципу «ломай по-больше» (корпусом ледокола, фрезами, водометами и т. п.).

Часть 5

Хотя идея решения и найдена, обратимся ради контроля к таблице устранения технических противоречий.

5—1. Нам надо увеличить **скорость** (строка 9). Или **производительность** (строка 39), если рассматривать корабль как машину для транспортировки груза.

5—2. Известный путь увеличения скорости (производительности) движения во льдах — увеличение **мощности** двигателей.

5—3. Выбираем колонку 21.

5—4. Противоречие типа 9—21, приемы: 19, 35, 38, 2. Противоречие типа 39—21, приемы: 35, 20, 10.

5—5. Прием 35(а) — изменение агрегатного состояния объекта — соответствует найденному решению.

Мы могли бы и сразу — без анализа — обратиться к таблице. Но в этом случае ответ был бы неожиданным: «Сделать корабль жидким или газообразным». После шага 3—3, даже если у нас и нет идеи решения, мы знаем часть объекта, к которой надо приложить прием, подсказанный таблицей. Нет необходимости делать корабль жидким или газообразным, достаточно изменить агрегатное состояние той его части, которая находится на уровне льда.

Часть 6

6—1. Раньше корабль входил в систему «ледокол — транспортные суда, следующие за ним». Коль скоро наше транспортное судно само движется во льдах, отпадает

надобность в ледоколе. Можно рассуждать по-другому: ледокол, освобожденный от излишних двигательных установок, сам может возить груз.

6—2. Поскольку разрушение льда ведется теперь узкими лезвиями, можно использовать такие приемы разрушения льда, которые раньше были неэкономичными, например, различные электрофизические способы.

6—3. Смысл найденной идеи: не идти напролом по всему фронту, а продвигаться узкими лезвиями. Вероятно, эта идея может быть применена в технике земляных работ, где почти всегда идут напролом...

НЕСКОЛЬКО УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ

Задачу о ледоколе мы решили «в обход»: на первой же стадии решения цель была изменена. Возьмем теперь задачу о дождевателе и рассмотрим такой случай, когда цель не меняется.

Чтобы не было соблазна идти обходными путями, начнем с шага 2—3, а все предшествующие шаги заменим краткой патентной информацией.

Решение задачи 2

Основная тенденция в развитии самоходных дождевальных агрегатов — увеличивать длину крыльев¹. Чтобы несколько уменьшить консольную нагрузку на крылья, их снабжают опорными тележками с колесами. Так, например, устроен агрегат по патенту ФРГ № 1068940 (рис. 25, а). В английском патенте № 778716 крылья выполнены в виде шпренгельных (принцип дробления!) ферм (рис. 25, б). К сожалению, опорные тележки не избавляют от необходимости делать крылья жесткими и, следовательно, тяжелыми. Не случайно патент АРЕ № 2698 предусматривает самоходные опорные тележки. Круг, таким образом, замыкается: конструкция вновь усложняется.

Попробуем найти лучшее решение.

2—3. Дана система, состоящая из тележки, крыльев и расположенных на них распылителей воды. Увеличение длины крыльев сильно утяжеляет систему.

2—4. В принципе можно менять все элементы тележки, крылья и распылители. Но если мы решаем прямую задачу (увеличение размаха крыльев), тележка и распылители должны остаться неизменными. Поэтому

а — крылья.

¹ Подробный обзор см. А. Кармишин. Дождевально-оросительные агрегаты М, изд. ЦНИИПИ, 1965.

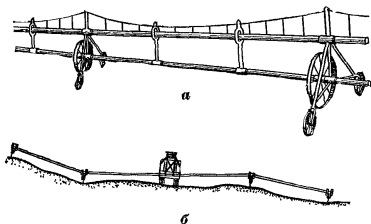


Рис. 25. Основная тенденция развития самоходных дождевальных агрегатов — увеличение длины крыльев:
а — агрегат по патенту ФРГ № 1068940; *б* — в английском патенте № 778716 крылья сделаны в виде шпренгельных шарнирных ферм.

б) — тележка и распылители.

2—5. Крылья.

3—1. Крылья при поливе сами держатся над полем (при размахе в 200—300 м).

3—2. См. рис. 26.

3—3. Не выполняют требуемого действия «лишние» участки крыльев *АВ* и *ВГ*.

3—4. а) Нам надо, чтобы *АВ* и *ВГ* сами держались над землей.

б) Мешает вес этих частей.

в) Части *АВ* и *ВГ* должны что-то весить (это части конструкции) и в то же время веса у них не должно быть.

3—5. Части *АВ* и *ВГ* будут держаться над землей, если мы предельно уменьшим их вес (как в задаче о ледоколе предельно уменьшали ширину взаимодействующей со льдом части) или как-то уравновесим крылья.

3—6. Облегчение крыльев — путь, ведущий к надувным конструкциям. Этот путь рассмотрен в условиях задачи. Остается уравнивание: к частям *АВ* и *ВГ* надо приложить силы, равные по величине силе веса этих частей и противоположные по направлению. Силы могут быть аэродинамические (у нас крылья), гидродинамические и т. д.



Рис. 26. К задаче 2, шаг 3—2: крылья сами себя держат гидро-реактивной силой подаваемой в распылителе воды.

3—7. Аэродинамические силы в данном случае малы. Чтобы крылья сами себя держали, целесообразно использовать гидрореактивную силу подаваемой в распылителе воды.

Напор воды в гидросистеме (23 м на концах крыльев) достаточен для самоподдержания леек. Расчет показывает, что легкая гидросистема может сама себя поддерживать и передвигать. Но даже если гидрореактивной силы было бы недостаточно, следовало хотя бы частично облегчить крылья. Пусть в нерабочем положении эти легкие крылья будут опущены вниз. При поливе гидрореактивная сила поднимет концы крыльев.

* * *

Алгоритм не избавляет изобретателя от необходимости думать. Одна и та же задача может быть решена на разных уровнях — в зависимости от индивидуальных качеств изобретателя. Проследим это на примере.

Задача 6

При горных работах раньше производили последовательные взрывы десяти зарядов в течение двух минут. Оператор успевал замыкать контакты цепи с электродетонаторами вручную. Но при новой организации горных работ необходимо за 0,6 сек. последовательно включить 40 контактов, причем промежутки между взрывами неравны и каждый раз меняются. Например, взрыв № 2 должен следовать через 0,01 сек. после взрыва № 1; взрыв № 3 — через 0,02 сек. после взрыва № 2 и т. д. В другой раз взрыв № 2 должен произойти через 0,03 сек. после взрыва № 1 и т. д. График включения желательно выдержать с точностью до 0,001 сек.

Нужен предельно простой, надежный и точный способ включения.

Решение задачи 6

3—3. Дана система из 40 пар проводов (контактов) и 40 «замыкалок» (или одной подвижной «замыкалки»). Трудно замыкать контакты по графику.

(Электродетонаторы не входят в рассматриваемую систему. Надо замыкать контакты, а куда идет ток — безразлично.)

2—4. а) «Замыкалка».

б) Контакты.

(В условиях данной задачи контакты — это просто концы проводов, которые надо замкнуть. Менять провода мы не можем: все равно будет что-то, проводящее ток. А вот «замыкалку» можно менять как угодно. Если мы отнесем к «б» оба элемента — контакты и «замыкалку», — объектом станет внешняя среда. На шаге 3—3 выделится часть этой среды: то, что находится между контактами. И дальнейшее решение совпадет с тем случаем, когда выбрана «замыкалка».)

2—5. «Замыкалка».

3—1. «Замыкалка» сама соединяет контакты точно по графику.

3—2. См. рис. 27.

3—3. Не может осуществлять требуемого действия подвижная часть «замыкалки».

3—4. а) Нам надо, чтобы «замыкалка» сама передвигалась по графику.

б) «Замыкалка» не может передвигаться без применения каких-то сил.

в) Для передвижения «замыкалки» нужны силы, а мы хотим, чтобы «замыкалка» двигалась сама, т. е. без наших усилий.

3—5. «Замыкалка» будет двигаться сама, если в ней самой появятся силы.

3—6. Если силы появляются сами — это естественные силы.

3—7. Простейший случай движения под действием естественных сил — падение. «Замыкалка» должна двигаться под действием силы тяжести. Это обеспечит движение по определенному закону, т. е. **по графику**.

3—8. В трубке создан вакуум. Падает груз и замыкает контакты. Переналаживание легко осуществляется, ес-

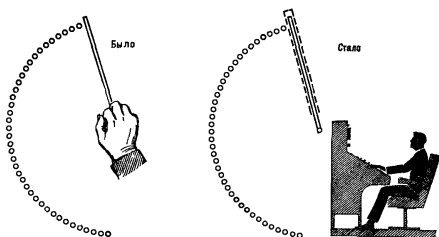


Рис 27 К задаче 6, шаг 3—2 «замыкалка» должна двигаться сама, без участия человека

ли в трубке много контактов и можно подключаться к тем, которые нужны

Сопоставим это с решением по авторскому свидетельству № 189597: «Устройство для установления заданных промежутков времени, отличающееся тем, что с целью повышения точности измерений при записи сейсмограммы оно выполнено в виде стержня с расположенным на нем грузом, замыкающим во время падения контакты, соединенные с электродетонаторами».

Такие ответы учебных задач, защищенные авторскими свидетельствами и отражающие современный уровень творческой мысли в данной области, мы будем называть **контрольными ответами**.

Смысл изучения АРИЗ, конечно, не в том, чтобы научиться находить контрольный ответ. Решить учебную изобретательскую задачу — значит, дать ответ, не очень отличный от контрольного (на первых этапах обучения), сходный с ним или превосходящий его (на завершающих этапах обучения)

Задачу 6 можно было решить чисто конструкторским путем (например, используя цепи с линиями задержки), но при этом не удалось бы совместить предельную простоту с требуемой точностью. Контрольный ответ соответствует второму уровню перебрав несколько десятков вариантов, к нему можно было прийти и без АРИЗ.

Попробуем теперь усложнить задачу. Это даст нам возможность в большей мере использовать АРИЗ.

Задача 7

Возьмем в качестве прототипа ответ 3—8 на задачу 6. Имеется стеклянная трубка с вакуумом; падает металлический шарик, замыкает введенные в трубку контакты. Недостаток прототипа — нет свободного падения «замыкалки»: шарик все-таки касается контактов и, следовательно, притормаживается.

Как быть?

Если взять 40 трубок разной длины, мы избавимся от трения (контакты будут только на дне), но усложним прибор. Заменить контакты микрокатушками, а шарик — магнитом? Останется трение магнита о силовые линии тока в катушках. К тому же схема сильно усложнится введением усилителя. Ввести световое замыкание? Плохо. Мы снова усложняем схему...

Прибор должен остаться простым, а точность его по сравнению с прототипом должна быть повышена. Задача учебная, поэтому менять ее нельзя; надо обязательно сохранить исходную схему (контакты и падающая «замыкалка»).

Решение задачи 7

2—3. Дана система из вакуумной трубки, контактов и «замыкалки». При падении «замыкалка» трется о контакты.

2—4. а) «Замыкалка», контакты.

б) Трубка.

(Сейчас, когда мы рассматриваем трение «замыкалки» о контакты, оба эти элемента в равной мере могут быть отнесены к «а». Трубку тоже можно менять, но в меньшей степени; у трубки своя функция — держать вакуум.)

2—5. «Замыкалка».

(Можно взять контакты, можно взять «замыкалку-контакты» — в данном случае это безразлично, так как все равно придется рассматривать взаимодействие трущихся частей.)

3—1. «Замыкалка» при падении сама замыкает контакты без трения.

Для замыкания нужно соприкосновение, т. е. трение. ИКР говорит: пусть трение будет без трения! Дикая идея, не так ли?

Здесь возникает сильный психологический барьер, и дальнейший ход решения во многом зависит от индивидуальных качеств изобретателя, прежде всего — от смелости и организованности мышления. Нужно уметь не останавливаться перед барьером, не отступать, не уходить в сторону.

3—2. Итак, шарик должен проходить сквозь контакты без трения! Тут может появиться идея жидкого шарика. Но это решение не годится: жидкость будет испаряться, исчезнет вакуум, нарушится свободное падение.

3—3. Не может выполнить требуемого действия наиболее широкая часть шарика. Его, так сказать, антиталия...

3—4. а) Нам надо, чтобы шарик двигался без трения, т. е. не касаясь контактов.

б) Для замыкания антиталия должна плотно прикасаться к контактам.

в) Для «а» нужно, чтобы шарик двигался; для «б» — чтобы он не двигался...

3—5. Значит, шарик должен одновременно двигаться и не двигаться.

Раньше было «трение без трения», теперь «движение без движения»... Подобно тому как перед рассветом усиливается темнота, так и перед выходом к новой идее мысль наталкивается на препятствия, кажушиеся особенно трудными. Мы будем называть это явление пред-
р а с с в е т н ы м э ф ф е к т о м. Помните, Максудов подошел к мысли, что приходится усложнять конструкцию. Раньше он останавливался на этом месте (темнота сгущалась, дальше не хотелось думать!). Но в поезде Максудов решил «пофантазировать»: допустил возможность усложнения конструкции и продолжал размышление. И вот оказалось, что усложнение — кажущееся.

3—6. Придется разделить шарик. Пусть одна часть, а именно антиталия, дойдя до контакта, останавливается, а другая часть шарика (все остальное) — продолжает свободное падение.

3—7, 3—8. Сделаем «замыкалку» составной (рис. 28). Верхнее кольцо, дойдя до первой пары контактов, остановится и замкнет первую цепь. Остальная часть «замыкал-

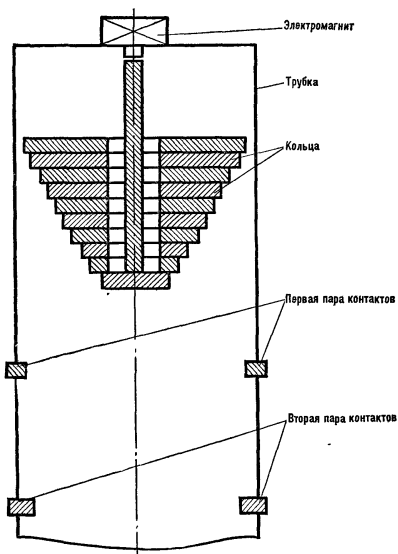


Рис. 28. Каждая пара контактов задержит только «свое» кольцо.

ки» будет при этом продолжать свободное падение: остановка верхнего кольца не отразится на нижних кольцах, так как при свободном падении верхнее кольцо не давит на нижние кольца. Исключено и сдвигание колец в сторону — нет сил, способных вызвать это сдвигание.

Вторая пара контактов выдвинута к оси трубки боль-

ше, чем первая пара. На второй паре контактов задерживается второе кольцо, а оставшаяся часть «замыкалки» снова продолжает падение и т. д.

Прикинем теперь, как будет устроена трубка. Предположим, длина трубки — 3 м (это вполне допустимо по аналогии с прототипом). Первый метр оставим нерабочим: «замыкалка» там только разгоняется. Следующие два метра «замыкалка» в свободном падении пройдет за 0,2 сек. Среднее расстояние между контактами на этом участке: $200 \text{ см} : 40 = 5 \text{ см}$. Ясно, что число контактов можно существенно увеличить. Подключая цепи к тем или иным контактам, мы сможем реализовать разные графики включения. Средняя скорость движения «замыкалки» 1 м за 0,1 сек. Значит, 0,001 сек. соответствует точность установки контактов в 1 см. А контакты можно легко установить с точностью, в десять раз большей. При диаметре трубки в 80 мм среднее сдвигание контактов к оси трубки — 2 мм. «Перезарядка» прибора достигается его переворачиванием. Одновременное сбрасывание всех колец — освобождением нижнего кольца, на котором свободно лежат все остальные кольца.

Итак, мы все-таки получили трение без трения! Найденный принцип значительно шире конкретной задачи. В сущности, мы нашли способ опорного движения без трения об опоры... Решить задачу на таком уровне без АРИЗ — путем перебора вариантов — очень нелегко. Вы можете убедиться в этом, предложив задачу 7 своим друзьям. Помните, что при этом нельзя менять задачу: должна быть усовершенствована исходная схема (с падающим грузом, замыкающим контакты). И еще: условия задачи надо не пересказывать, а давать в письменном виде. Пусть решающий ознакомится с контрольным ответом по задаче 6, а затем прочтает условия задачи 7.

Разобрав несколько задач, которые мы привели, читатель может сделать вывод, что для АРИЗ характерно стремление получить требуемый эффект при минимальных затратах. В задаче 5 мы стремились к тому, чтобы как можно меньше разрушать лед: разрушенный лед сам по себе никому не нужен, это только «плата» за грубый, несовершенный способ движения. В задаче 2 крылья дождевателя держались «сами по себе». В задаче 7 трение было снято простым разделением «замыкалки».

Для обычного инженерного мышления типично дру-

гое: готовность «платить» за полученный эффект. «Нужно опустить эту тяжелую трубу на откос,— думает инженер.— Прекрасно. Смонтируем кран, он опустит трубу». Кран — это и есть плата за реализацию действия, требуемого задачей.

Изобретатель думает иначе: «Нужно опустить эту трубу. Ну, что же, надо делать так, чтобы труба как-то сама легла на откос».

Мы привыкли расплачиваться за решение технических задач металлом машин, сложностью электроники и щедрым расходом энергии. АРИЗ вырабатывает привычку платить иной валютой — творческой мыслью. Задача может кричать: «Я совсем простая, меня легко решить, используя известные механизмы!» Но изобретатель все равно должен стремиться найти решение, не требующее машин, механизмов, устройств. Конечно, что-то, в конце концов, придется использовать. Но это «что-то» должно быть обязательно новым и более эффективным.

Посмотрим на конкретной задаче, как это происходит.

Задача 8

В лаборатории намечено провести серию испытаний системы фильтров (например, для двигателей внутреннего сгорания). В ходе испытаний в фильтры вместе с поступающим туда воздухом надо подавать песок, пыль, частицы глины и прочие сыпучие добавки. Для каждого испытания имеется график подачи добавок. Иногда надо подавать только одну какую-нибудь добавку, например, только песок, а нередко требуется одновременно подавать до 24 видов добавок. Каждая добавка подается в свое время по заранее составленному графику, поэтому смешивать добавки и подавать усредненную смесь нельзя. Вес каждой добавки от 0,01 кг до 0,03 кг. Время подачи 10 сек. Потом установку разбирают и исследуют.

Нужно предложить способ подачи сыпучих добавок. Основные требования: простота, точность, легкость переналадки (предполагается проверить сотни разных сочетаний добавок).

* * *

Эта задача была предложена слушателям, только что принятым в Азербайджанский общественный институт изобретательского творчества. Время на решение не ограничивалось, большинство справилось с задачей за

$\frac{1}{2}$ —2 часа. Все слушатели — 90 человек — подошли к задаче с позиций обычного конструирования: подача порошков осуществлялась различными дозаторами. В нескольких предложениях автоматизация дозировки достигалась использованием ЭВМ!

Вот одно из решений: «К агрегату подведены 24 трубы. Перед каждой трубой вращается приспособление в виде сита. Число дырок в сите соответствует числу точек кривой для данного порошка. Диаметры дырок подобраны так, чтобы в агрегат в одну секунду могло проходить определенное количество порошка. Скорость вращения сит такова, что каждую секунду к трубам подается новое отверстие нужного диаметра». Итак, 24 дозатора — каждый с набором ежесекундно меняющихся диафрагм! Машина громоздкая, не очень надежная (отверстия в диафрагмах и трубки могут забиться) и трудно поддающаяся переналадке.

Через полтора месяца та же задача была вновь предложена слушателям. На этот раз времени на решение потребовалось вдвое меньше — и половина слушателей вышла на уровень контрольного ответа.

Решение задачи 8

Применим оператор РВС.

2—2а. Увеличим количество добавок в 100 раз. Теперь потребуются 2400 дозаторов. Получается слишком громоздкая установка. Дозатор должен быть один и притом самый простой. Но из этого простого дозатора должны независимо идти 2400 порошков...

2—2б. Если добавка одна, можно поставить обычный дозатор.

2—2в. Чем меньше время подачи, тем хуже будет работать дозатор. Если вместо 30 сек. в нашем распоряжении всего 0,03 сек., мы просто не успеем отдозировать порошки. Вывод: дозировку надо осуществлять заранее. Главный выигрыш в том, что заранее мы можем дозировать порошки любым способом и без спешки, следовательно, очень точно. Если у нас есть заранее отдозированные порошки (например, разложенные по секундным порциям), то дозаторы не нужны: из двух требуемых действий — отдозировать порошки и подать — остается только второе действие.

2—2г. Допустим, время подачи порошков растянуто

до года. Порошки подаются медленно — крупинка за крупинкой. В этом случае тоже есть смысл отдозировать их заранее, скажем, по недельным порциям.

2—2д. Если допустимая стоимость устройства близка к нулю, устройства нет или почти нет. Собственно, дозатор нам не нужен: мы можем любым — самым дешевым способом отдозировать порошки заранее. Значит, надо как-то избавиться и от подающего устройства.

2—2е. Если расходы на устройство могут быть высокими, попробуем изменить природный элемент системы — порошки. Соединим — хотя бы с помощью клея — каждую крупинку порошка с крупинкой ферромагнитного материала. Теперь подачей порошков очень легко управлять. Правда, неясно, как в нужный момент отделять крупинки порошка от крупинок металла.

Что же нам дал оператор РВС? Одну безусловно подходящую идею — дозировать порошки заранее. И одну дикую, но заманчивую идею: крупинки металла несут и сбрасывают частицы порошка.

Продолжим решение.

2—3. Дана система из фильтров и 24 добавок. Добавки трудно подавать в фильтры по графикам.

2—4. а) —

б) Фильтры, порошки.

Менять фильтры нельзя — мы их исследуем. Порошки тоже нельзя менять — нарушатся условия эксперимента.

2—5. Внешняя среда.

3—1. Внешняя среда сама подает порошки по заданным графикам просто и точно.

В этой формулировке, в сущности, указаны два действия — дозировать («по заданным графикам») и подавать. Но шаг 2—2 уже дал идею предварительной дозировки. Поэтому мы можем уточнить ИКР:

3—1. Внешняя среда сама подает заранее отдозированные порошки просто и точно.

3—2. Будем для простоты рассматривать один порошок, помня, что потом решение надо распространить на 24 порошка. Итак, мы имеем заранее отдозированный порошок (рис. 29); сейчас внешняя среда не подает порошок, а нам надо, чтобы она сама подавала его в воронку.

3—3. Не может выполнить требуемого действия часть внешней среды от того места, где лежат отдозированные порошки, до воронки.

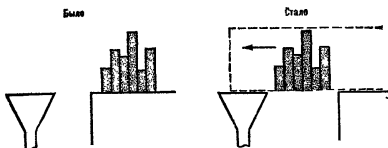


Рис. 29. К задаче 8, шаг 3—2: заранее отдозированный порошок подается при помощи ленты.

3—4. а) Нам надо, чтобы эта часть внешней среды сама несла порошок.

б) Нетрудно сделать эту часть среды из ленты. На ленту можно положить предварительно отдозированный порошок. Но куда денется лента над воронкой?

в) Несовместимость (притом не очень страшная — это уже видно) состоит в том, что лента должна быть и ленты не должно быть. Правда, требования эти относятся к разным моментам времени: пока лента несет порошок, она должна быть; когда порошок донесен, должна исчезнуть. Нечто подобное (с частицами ферромагнитного материала) у нас получилось и на шаге 2—2е.

3—5. Итак, лента должна исчезнуть над воронкой.

3—6. Либо надо уничтожить ленту, либо отвести ее в сторону.

3—7. Можно загнуть ленту: пусть возвращается назад. Получится что-то вроде ленточного транспортера. 24 транспортера? А если их 240? Плохо! Транспортер хорош, когда надо долго подавать материалы. А мы весь порошок расположили заранее — нам не нужна высвободившаяся лента транспортера.

Остается первый вариант — уничтожить ленту над воронкой. Это ближе к идеальной машине: часть машины, выполнившая свою работу, должна исчезнуть.

3—8. Куда и как будет исчезать лента? Можно отбрасывать ленту, но это, видимо, потребует применения какого-то механизма. Идеальнее, чтобы лента исчезала сама: таяла, испарялась и т. д.

4—1. Мы выиграли в точности (заранее тщательно дозируем), в простоте конструкции (набор исчезающих лент). Но вводится операция предварительной раскладки порошка на ленту.

4—2. Нетрудно нанести порошок на ленту равномерно: покроем ленту клеем, посыплем порошком, приклеим один слой. Однако нам нужна лента, несущая порошок в виде графика. Положить клей в те места, где по графику должен быть порошок? Проще вырезать график из ленты, имеющей одинаковую ширину. Вещество ленты должно легко резаться, легко покрываться клеем, легко исчезать. Обыкновенная бумага. А лучше — беззольная бумага.

4—3. Теперь трудно найти недостатки. Изготовить запас равномерно покрытых порошками листов несложно. Вырезать из этих листов нужные графики — совсем просто. Равномерно подавать один или несколько (сложенных в пачку) листов можно с помощью самых простых устройств. Сжигание беззольной бумаги над воронкой тоже не вызывает затруднений.

4—4. Мы нашли настолько простой способ, что его легко реализовать и испытать. Выигрыш отчетливо виден.

Контрольный ответ: «Способ непрерывного дозирования сыпучих материалов по весу в единице объема, например абразива, при ускоренных износных испытаниях двигателя внутреннего сгорания, отличающийся тем, что с целью повышения точности, абразив предварительно наносят равномерным слоем на поверхность гибкой ленты из легковоспламеняющегося вещества, подают ее с заданной скоростью в зону нагрева и сжигают, а абразив отводят к испытываемому объекту» (авторское свидетельство № 305363).

* * *

Разумеется, практически записи решений несколько короче. Вот, например, решение В. Митрофанова, студента 5-го курса Азербайджанского института нефти и химии:

«2—3. Дана система: агрегат и добавки.

2—4. а) —

б) Агрегат, добавки.

2—5. Внешняя среда.

3—1. Внешняя среда вводит добавки вовремя и как нам нравится.

3—2. (На рисунке «Было» показаны хаотические потоки добавок, на рисунке «Стало» — упорядоченные.)

3—3. (Выделены участки — там, где насыпаются добавки.)

3—4. Внешняя среда не взвешивает, не знает времени и т. д.

3—5. Если бы ей не надо было знать ничего. Если заранее как-то все сделать».

Отсюда В. Митрофанов сразу пришел к ответу, совпадающему с контрольным. На решение было затрачено всего 20 минут.

Инженер Р. Султанов получил тот же ответ, но несколько иным путем:

«3—4. Внешняя среда не может захватить нужные количества порошков и подавать в строго определенное время.

3—5. Если внешняя среда обладала бы каким-то средством транспортировки (например, подавала бы 1 контейнер в секунду), в которое заранее насыпано нужное количество порошков. Контейнер — название условное. Допустим, оболочка, лента. После доставки лента исчезает».

Формулировки ответов на вопросы АРИЗ сохраняют индивидуальность. Но для всех сильных решений (на уровне или выше контрольного ответа) характерен общий стиль мышления:

направленность мысли, отсутствие беспорядочных скачков, суетливых метаний;

постоянная ориентировка на ИКР, стремление получить результат, расплатившись предельно-минимальным устройством;

умение легко преодолевать психологические барьеры (термин «контейнер» тянул к идее использования пакетиков, но Р. Султанов тут же отметил: контейнер — название условное. Потому что оболочка или лента — тоже контейнеры...);

хорошее владение основными приемами устранения технических противоречий, когда малейшая подсказка анализа воспринимается как ясное указание применить тот или иной прием (были использованы приемы предва-

рительного исполнения, отброса ненужных частей, динамизации объекта).

* * *

Теперь я приведу несколько задач для самостоятельного решения. Это учебные задачи: в их условиях содержатся все сведения, необходимые для решения. Каких-либо отраслевых знаний не требуется. Кроме того, поскольку задачи учебные, достаточно лишь в самом общем виде найти принцип решения.

Не ищите решение перебором вариантов. Пытаясь отгадывать (по знакомому методу «а если сделать так...»), вы лишь бесполезно затратите время. Если удастся правильно угадать ответ, ваше творческое мастерство от этого не повысится. Даже самые простые задачи надо решать по системе, это нужно для тренировки изобретательских навыков.

Решайте задачу так, как будто оценка ставится не за полученный ответ, а только за ход решения. Считайте, что самое важное — четко выстроить лесенку ответов на вопросы. Эта лесенка должна обладать двумя свойствами: первое — цельность, отсутствие логических разрывов; второе — наличие какого-то неожиданного поворота. Вспомните решение задачи 7: уже в ИКР мы пришли к выводу, что нужно получить трение без трения. Здравый смысл уводил в сторону, но мы стали последовательно искать трение без трения и движение без движения...

Задача 9

Воздух, подаваемый в аквариум, позволяет в сравнительно небольшом объеме воды содержать много рыбок. Поэтому давно возникла мысль использовать аналогичный прием для интенсификации рыбоводства в озерах, прудах и т. п. Беда, однако, в том, что способ этот неэкономичен: лишь небольшая часть воздуха успевает раствориться в воде, основная же его масса возвращается в атмосферу. Для комнатного аквариума это не так страшно — маленький моторчик справляется с делом. Но в озерах иные масштабы; потребовалось бы возле каждого озера строить мощную компрессорную установку, прокладывать разветвленную систему труб и т. д.

Нужен иной способ — несложный, экономичный и, конечно, безвредный для рыб. Поэтому, в частности, надо использовать реактивы, выделяющие кислород.

Задача совсем простая. Попробуйте ее решить сразу (без анализа) по таблице типовых приемов.

Задача 10

При полировке оптических стекол используют дерево и ткани, а в последние годы — смолы и пластмассы. В зону соприкосновения стекла и инструмента подается водная взвесь полировального порошка.

Однако этот традиционный способ далек от совершенства. Полировку приходится вести на низких скоростях, так как смолы, ткани, дерево и пластмассы с увеличением числа оборотов сильно разогреваются и теряют необходимые качества.

Как повысить скорость обработки?

Вероятно, вы сразу подумаете о подаче охлаждающей жидкости: пусть вместо водной взвеси будет взвесь полировального порошка в какой-нибудь охлаждающей жидкости. Такой способ известен, он дает не очень хорошие результаты. Представьте себе полировальник в виде небольшой подушки, которая быстро вращается, плотно прижимаясь к стеклу. Как подавать охлаждающую жидкость? Сбоку? Но ведь тепло выделяется под подушкой — там, где в данный момент прижат полировальник. Устроить сквозные каналы в полировальнике? Тут мы наталкиваемся на противоречие: чем больше в полировальнике каналов, тем равномернее будет подача жидкости, но тем хуже будет работать сам полировальник, ибо он будет состоять в основном из дырок... Словом, дырчатый полировальник — не самая удачная идея.

Это тоже очень простая задача. Решите ее, используя таблицу типовых приемов.

Задача 11

Для испытания материалов на длительную прочность в условиях высоких температур и агрессивных сред используют прочные камеры — сейфы. К образцу материала прикрепляют груз, после чего заполняют камеру агрессивным веществом, герметично закрывают и включают систему обогрева (тепловые элементы размещены в стенках камеры). Вес груза — от 0,02 кг до 2 кг.

Основная трудность при таких испытаниях связана с определением момента разрыва образца. Правда, здесь

не требуется особой точности. Достаточно, если момент обрыва будет зафиксирован с точностью до нескольких секунд, так как испытания ведутся иногда в течение многих дней. Сложность в другом: трудно обеспечить надежность сигнальных устройств, размещенных внутри камеры в сильно агрессивной среде. Нужно, чтобы момент обрыва определялся снаружи. Аппаратура, улавливающая шум падения груза, не годится — она слишком сложна и ненадежна.

Примем для определенности, что камера имеет размеры $0,4 \times 0,3 \times 0,3$ м, а толщина стальных стенок — около 10 мм. Итак, нужен предельно простой и надежный способ регистрации момента разрыва образца. Помните: не должно быть ни одного сквозного отверстия в стенках камеры!

Начните анализ задачи с шага 2—3.

Задача 12

Имеется пневматический конвейер. Он представляет собой наклонную трубку, по дну которой снизу вверх — под действием потока воздуха — перемещаются (катятся) мелкие штучные грузы. В нашем случае — помидоры. Трубка идет с этажа на этаж, в нескольких местах меняет направление (для наглядности можно считать, что труба расположена вдоль обычной лестницы). Недостаток системы: помидоры налетают друг на друга, ударяются, портятся.

Нужен способ пневматической транспортировки, при котором грузы будут двигаться по заданной программе с абсолютной надежностью: на определенном расстоянии друг от друга и в определенном темпе. Отказываться от пневматической системы транспортировки крайне нежелательно: потребуется новое оборудование, а его у нас нет.

Начните решение задачи с шага 2—3.

Задача 13

В электронных схемах высокой частоты применяют так называемые линии задержки. Они служат для сдвига выходного сигнала по времени. Линии задержки представляют собой слоистую конструкцию — слой материала с низким и высоким омическими сопротивлениями чере-

дуются. Такими парами могут быть, например, стекло и сталь, сплав Вуда и медь. Толщина слоев составляет 0,1—0,01 мм, точность изготовления требуется высокая.

Известные способы изготовления (прессование, прокатка) малопроизводительны, дороги, дают много брака. Из некоторых пар вообще не удастся получить слоистую конструкцию: материалы, составляющие пару, обычно резко отличаются по температуре плавления (стекло — до 800°, сталь — 1500°, сплав Вуда — 70°, медь — 1083°); на тонкую пластину из сплава Вуда наложить раскаленную медную пластину, сплав Вуда просто растает.

Нужен принципиально новый способ изготовления слоистых конструкций.

Эта задача сложнее двух предыдущих: барьеры на пути к ее решению весьма высокие. Начните решение с шага 2—2.

Задача 14

Трубопровод далеко не всегда удастся загрузить каким-либо одним нефтепродуктом. Поэтому была предложена последовательная транспортировка, при которой разные нефтепродукты передаются по одному трубопроводу друг за другом, так сказать, встык. Способ этот в принципе имеет большое преимущество: вместо нескольких параллельных трубопроводов можно построить один. Но широкого распространения последовательная перекачка пока не получила.

Причина в том, что при перекачке одного горючего вслед за другим в зоне их соприкосновения неизбежно происходит смешивание. В связи с этим возникают сложные технические проблемы. Как, например, точно установить, когда кончается чистый бензин и начинается смесь его с дизельным топливом? А где кончается эта смесь и начинается последующий чистый продукт? Как своевременно отделить смесь от чистых продуктов и избежать загрязнения топлива, ранее поступившего в резервуары конечного пункта перекачки?

До 1960 года почти на всех магистральных нефтепроводах применялся ручной способ контроля: во время очередного цикла перекачки лаборанты контрольных пунктов в любую погоду, днем и ночью часами просиживали в сырых колодцах трубопровода, производя многочислен-

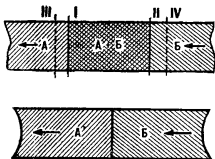


Рис. 30. Как уменьшить потери нефтепродуктов, передаваемых по одному трубопроводу?

ные анализы. Делалось это кустарно: прямо из трубопровода брали пробу, наливали ее в колбу и по уровню плавающего в ней поплавка определяли плотность нефтепродукта. Но разность плотности светлых горючих весьма незначительна, и «ловить» таким путем границы смещения было почти невозможно. В результате за каждый цикл перекачки только по одному трубопроводу

среднего диаметра (500 мм) вместе со смесью уходило в брак от 800 до 1200 тонн чистых продуктов.

Было внесено несколько предложений. Например, предложили прибор «нефтеденсиметр», который определял сортность нефтепродуктов по их плотности тоже на основе поплавка, но установленного в горловине трубопровода. Предлагалось также осуществлять контроль гамма-плотномером. Этот прибор действует при помощи гамма-излучений радиоактивных изотопов, устанавливая качество горючего опять-таки по его плотности. Есть ультразвуковые установки, измеряющие скорость распространения звука в жидкости.

Посмотрите на рис. 30. По трубопроводу встык движутся два разных нефтепродукта А и Б. На стыке образуется смесь А + Б. Если бы удалось точно фиксировать границы I и II, то потери не превышали бы объема смеси. Но из-за неточности контроля приходится начинать отделение смеси раньше (линии III), а заканчивать позже (линии IV), чем это теоретически возможно. Совершенствуя

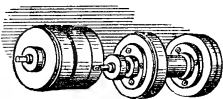


Рис. 31. Разделители с манжетными и дисковыми уплотнителями.

методы контроля, приближают линию III к I и линию IV к II. Потери при этом уменьшаются, но смесь А + Б образуется по-прежнему. Целесообразнее обходной путь: вообще избежать образования смеси А + Б, используя какой-то разделитель между А и Б.

Известны разделители (рис. 31) с манжетными, дисковыми и щеточными уплотнителями. Однако эти «ершики» имеют принципиальные недостатки: смесеобразование не предотвращается — нефтепродукты просачиваются через зазоры между стенками трубы и уплотнителями; «ершики» застревают в трубопроводах, а кое-где вообще не могут пройти. На трассе (через определенные расстояния) стоят промежуточные насосные пункты. Понятно, что пройти через насосы твердый разделитель не может.

Расположить вдоль трубопровода гибкую перегородку? Дорого, сложно, ненадежно...

Были предложены жидкие разделители: вода, лигроин. На первый взгляд это удачное решение: чтобы не происходило смешивания, достаточно взять жидкий разделитель в небольшом количестве — полтора процента от объема трубопровода. Но беда в том, что и вода, и лигроин, и любой другой жидкий разделитель в процессе транспортировки смешиваются с нефтепродуктами. Конечно, не жалко выбросить отработавшую в качестве разделителя воду, но как отделить ее от нефтепродуктов?

Итак, твердые и жидкие разделители имеют серьезные недостатки. Газообразные вообще не подходят: газ поднимается в верхнюю часть трубопровода и перестает играть роль разделителя.

Проведите анализ задачи с шага 2—3.

«ЗАПАТЕНТОВАНО» В ПАЛЕОЗОЕ...

Общее количество патентов на изобретения, выданных во всем мире, составляет около 13 миллионов. Предположим, что одно описание можно прочитать за 5 минут. Тогда на ознакомление с мировым патентным фондом потребуется около 125 лет.

Есть, однако, еще один «патентный фонд», в котором изобретений так много, что ознакомиться с ними человечеству не удалось за все время существования. Это патентный фонд природы.

Человек издавна пользовался идеями, «запатентованными» природой. Количество изобретений, имеющих прямые прообразы в природе, вероятно, измеряется десятками тысяч. И все же пока освоена ничтожная часть «изобретений» природы, лишь те, которые лежали на виду.

Еще недавно господствовало мнение, будто одни и те же задачи в технике и в природе решаются разными путями. Действительно, технические решения чаще всего не похожи на решения природные. То, что в природе достигается тихо и как-то незаметно, в технике нередко связано с использованием огромных температур и давлений, с колоссальным расходом энергии, словом, с «большими потенциалами». Эти «большие потенциалы» выглядят куда более внушительными, чем едва заметные приспособления каких-то букашек.

Считалось азбучной истиной, что копирование природы лежит в стороне от главной линии развития техники. Поэтому изобретатели, решая новые технические задачи, обычно даже не делали попыток использовать ответы, уже полученные природой.

Какой же путь предпочтительнее — традиционно-технический или тот, по которому развивались «живые машины»?

Сравним, например, крыло самолета и крыло птицы. Крыло современного самолета — одно из наивысших достижений техники. Но ни один самолет не может соперничать с птицами по количеству поднимаемого груза на единицу затрачиваемой мощности. Если бы крылья современных самолетов были машущими, они поднимали бы 120—130 кг груза на 1 л. с., развиваемую двигателями. А пока крылья наиболее совершенных машин способны поднять лишь вдесятеро меньший удельный груз.

Особенно велико превосходство природы в конструировании «контрольно-измерительных приборов». Кузнецик располагает слуховой аппаратурой, улавливающей колебания, амплитуда которых равна половине диаметра атома водорода! Не удивительно, что именно приборостроители первыми пришли к выводу о необходимости планомерно изучать и переносить в свою практику принципы, используемые природой. Так возникла **бионика** — наука, решающая инженерные проблемы приемами, заимствованными у природы.

Вначале бионика занималась лишь моделированием органов чувств. Сейчас круг решаемых ею проблем значительно расширился: бионика берется за задачи, относящиеся к самым различным отраслям техники. Общим является лишь метод решения — использование прообразов природы.

В сущности, восьмой шаг оперативной стадии АРИЗ можно было бы сформулировать так: надо подойти к решению изобретательской задачи с позиций бионики. Теоретически здесь все просто — изобретатель заимствует готовое решение. Практически же, прежде чем позаимствовать, надо найти подходящий природный прообраз. И тут оказывается, что при всей теоретической бесспорности этого приема практически он может быть использован лишь в редчайших случаях.

На семинарах по методике изобретательства были решены сотни учебных и производственных задач, но ни разу в качестве подсказки не использовались природные прообразы! Правда, после решения задачи нередко удавалось «подобрать» для найденной идеи природный аналог. Это укрепляло уверенность в том, что решение правильное, но не больше.

В чем же дело?

Казалось бы, появление бионики должно было сразу

дать каскад ошеломляющих изобретений во всех отраслях техники. Но отдача бионики пока заметна лишь в кибернетике. Здесь бионика стала надежным компасом исследователя. В других отраслях техники живые прототипы используются не чаще, чем в те времена, когда вместо нового слова «бионика» употреблялось выражение «копирование природных прообразов».

Достаточно прочесть несколько книг и статей по бионике, чтобы обнаружить один и тот же весьма скромный набор примеров: ультразвуковая локация у летучих мышей; жужжальца-гироскопы у мух; китообразная форма судов; кожа дельфина, снижающая сопротивление воды при движении; искусственное «ухо медузы», предупреждающее о приближении шторма...

И вот что характерно: сначала, как правило, делается изобретение, а потом отыскивается его живой прототип. Так, например, принцип метода снижения сопротивления был предложен Крамером еще в 1938 году, а лишь в 1955 году тот же Крамер обнаружил, что дельфины «применили его идею»...

Представьте себе патентную библиотеку, в которой миллиарды самых различных патентов расставлены по полкам в неизвестном для вас порядке. Именно такой видит «патентную библиотеку» природы изобретатель, работающий над решением новой технической задачи.

Надежной методики выбора живых прототипов пока нет. Поэтому в большинстве случаев изобретателю оказывается проще самому найти решение, чем отыскать подходящий патент природы.

И все-таки оперативная стадия АРИЗ включает бионический шаг. Есть два подхода, облегчающие ориентировку в гигантском патентном фонде природы!

1. Нужно искать прототипы среди древних животных: старые патенты природы проще и в то же время достаточно эффективны.

2. Нужно рассматривать общие тенденции в развитии патентов природы. Найти готовое решение очень трудно, но почти всегда можно выявить тенденции развития природных аналогов.

Поговорим об этом подробнее.

В Древней Греции было создано великолепное по тем временам изобретение: тараны, которыми разбивали ворота осажденной крепости, стали делать с торцами в виде

бараньих лбов. Такие торцы, как свидетельствуют историки, отлично воспринимали ударную нагрузку...

Неведомые древнегреческие бионики, создавая таран с бараньим лбом, вероятно, рассуждали так: «Нужно, чтобы бревно не расщеплялось и не сплющивалось при ударе. Где нам приходилось видеть что-нибудь подобное? На пастбищах! Бараны сталкиваются лбами — и ничего! Отличный прототип, лучше не придумаешь...»

По этому методу до сих пор осуществляется выбор живых прототипов: стараются отыскать возможно более совершенный «оригинал». Допустим, биолог укажет инженеру достаточно совершенный живой прототип. Хорошо? Нет. Ибо такие прототипы, как правило, сложны. Детально разобраться в их устройстве очень трудно, а построить копию порой просто невозможно.

Именно так обстоит дело с попытками скопировать кожу дельфина. В этом патенте природы и сегодня многое остается загадочным. Постепенно выясняется, что дельфин обладает тонкой и сложной системой кожного демпфирования. Нервные окончания в каждой точке кожного покрова улавливают изменение давления и передают соответствующие сигналы в центральную нервную систему, которая регулирует демпфирующую работу кожи. Практически невозможно и невыгодно копировать столь сложный прототип.

Выбирая наиболее совершенные природные прототипы, мы пользуемся последними томами патентной библиотеки природы. Не приходится удивляться, что многое оказывается непонятно: ведь мы читаем с конца!

Между тем для решения подавляющего большинства задач совсем не обязательно использовать совершенные, но слишком сложные прообразы. Гораздо перспективнее брать в качестве прообразов сравнительно менее совершенные, но зато более простые «патенты» — древних животных, изучаемых палеонтологией.

Палеобионический метод прежде всего намного расширяет «патентный фонд» природы. Среди ныне существующих животных нет, например, таких больших, какими были бронтозавры и индрикотерии. Но главное преимущество палеобионики в том, что она предлагает изобретателю значительно более простые (и потому легче воспроизводимые) прототипы.

Можно привести такой пример. Изобретатель А. М. Иг-

Игнатьев, отдыхая на даче, однажды забавлялся с котенком. Котенок царапнул Игнатьева. Изобретатель задумался: а почему, собственно, когти кошки, клюв дятла, зубы белки и зайца постоянно остры? Игнатьев пришел к выводу, что самозатачивание происходит благодаря многослойной конструкции зубов. Твердые стержневые слои окружены более мягкими слоями. Во время работы твердые слои испытывают большую нагрузку, мягкие слои — меньшую, и первоначальный угол заострения не меняется. Этот принцип Игнатьев воплотил в самозатачивающихся резцах.

Изобретатель (и это очень типично!) искал наиболее совершенные прототипы. Поэтому использованный им «патент» природы оказался сложным и самозатачивающиеся режущие инструменты нашли ограниченное применение.

Прообразы, использованные Игнатьевым, совершенно никудышные грызуны по сравнению с некоторыми динозаврами. Крупные динозавры весили десятки тонн и жили до 150—200 лет; нетрудно представить, какое количество пищи перемалывали они в течение жизни...

Особенно интересны зубы зауролофов — своего рода «копытных» динозавров. У зауролофа каждый зубной ряд состоял из трех зубов, сидевших друг над другом. Тройных буровых коронок пока нет, но уже проводятся испытания двойных коронок (их называют коронками с опережающим лезвием). Скорость бурения с помощью таких коронок повышается в полтора-два раза.

Другая особенность принадлежащего зауролофам «патента» в том, что режущие органы непрерывно растут, сменяя друг друга. Принцип этот чрезвычайно интересен. До сих пор усилия изобретателей, совершенствующих буровой инструмент, шли по привычному технике пути: «Зубья долота иступились, давайте поскорее вытащим долото и сменим его». Существуют сотни изобретений на тему «поскорее вытащить долото». С точки зрения бионики надо идти другим путем: делать зубья более износоустойчивыми, самозатачивающимися. Зауролоф подсказывает еще более интересное решение. Пусть зубья будут расположены в несколько рядов. Каждый ряд опирается на мягкую основу. Когда зубья первого ряда изнашиваются, вращение долота за несколько оборотов разрушит мягкую основу. Долото осядет, в соприкосновение с

грунтом вступит второй ряд зубьев («вырастут новые зубы»).

Недавно советским изобретателям Ю. Бушtedту, А. Атякину, Л. Лачияну, Н. Литвинову выдано авторское свидетельство № 161008 на двухъярусную буровую коронку. Формула этого изобретения очень точно повторяет древний «патент» ящеров: «Двухъярусная буровая коронка, состоящая из корпуса и двух ярусов резцов, отличающаяся тем, что, с целью предохранения резцов верхнего яруса от разрушения при вводе их в работу, под временную опору резцов нижнего яруса подослана амортизирующая подушка из мягкого материала».

Современные животные по размерам значительно уступают динозаврам. Они не так прожорливы и обходятся одним комплектом зубов (иногда растущих в течение всей жизни). И только исполины-слоны имеют сменные зубы «запатентованные» когда-то зауролофами...

Мечехвоста сейчас можно встретить лишь на восточном побережье Северной Америки и Азии. Это животное было современником не только динозавров, но и ближайших своих «родственников» — трилобитов, вымерших еще в палеозойскую эру. Несмотря на постоянно менявшиеся условия жизни, мечехвост за 200 миллионов лет почти не претерпел изменений и дожил до наших дней.

Особый интерес представляют глаза мечехвоста. У него два больших сложных глаза, расположенных по бокам панциря, и два маленьких глаза спереди. Каждый глаз состоит как бы из множества отдельных линз. Глаза мечехвоста очень чувствительны, и это обстоятельство долгое время было загадкой для ученых, поскольку животное ведет ночной образ жизни и большую часть времени проводит зарывшись в песок.

Длительное изучение глаза мечехвоста привело американского ученого Хартлайна к интересному открытию. Оказалось, что клетки зрительных нервов животного соединены перекрестно. Когда одна клетка стимулируется, другая тормозится. Таким образом, на сетчатке глаза получается четкое, контрастное изображение. Это открытие привело к созданию телевизионной системы с чрезвычайно контрастным изображением, что имеет огромное значение, например, при передаче фотографий с других планет на Землю.

Дальнейшее изучение дало возможность установить,

что глаз животного улавливает ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, невидимые для человека. Кроме того, американский ученый Уотерман обнаружил, что мечехвост воспринимает поляризованный свет, благодаря чему животное может ориентироваться, когда не видно солнца и звезд. Поиски продолжаются, и не исключено, что глаз мечехвоста послужит прототипом для нескольких сложных электронных приборов.

Древние животные, как правило, уступают современным в развитии головного мозга и нервной системы. В остальном они достаточно совершенны и могут служить прообразами для техники. Более того, в ряде случаев вымершие животные «по всем показателям» превосходят своих выродившихся потомков. Исчезли такие животные не потому, что были хуже устроены,— они вымерли из-за изменений климата и рельефа, а в некоторых случаях были истреблены человеком.

Надо сказать, что сами понятия «совершенный» и «несовершенный» весьма условны. То, что несовершенно с точки зрения природы, зачастую оказывается совершенным с точки зрения техники. Крылья летающих ящеров-птерозавров были несовершенны по сравнению с крылом птицы, ибо малейшее повреждение кожной перепонки препятствовало полету. Но у современной техники иной ассортимент материалов. С этими материалами целесообразнее копировать не птичьи крылья, работа которых в деталях до сих пор не поддается разгадке, а гладкие крылья таких отличных летунов, как вымерший рамфоринх или живущая и ныне, обладающая древней родословной стрекоза.

Многие из вымерших животных хорошо изучены. Зубы динозавров, например, есть почти в каждом естественноисторическом музее. Изобретатели, решающие задачи, связанные с переработкой вещества (дробление, резание и т. п.), могли бы обнаружить много интересных идей, «запатентованных» природой десятки миллионов лет назад.

Вот авторское свидетельство № 189353: «Ковш экскаватора..., отличающийся тем, что с целью улучшения внедрения ковша в грунт в средней части полукруглой режущей кромки смонтированы прилегающие друг к другу зубья, центральная пара которых выдвинута по отношению к остальным». Нетрудно заметить тут знако-

мую нам идею опережающего лезвия в сочетании со старым-престарым природным «патентом» на выдвинутую пару зубов (резцы, клыки, бивни).

Палеобионический метод отнюдь не возбраняет использовать в качестве прототипов и современных животных. Надо лишь выбирать наиболее древние прототипы.

Бионика давала ощутимые результаты именно тогда, когда в качестве прообразов бессознательно использовались реликтовые или, во всяком случае, очень древние животные. Так, одна из давших практически результаты работ — прибор, воспроизводящий «инфраухо» медузы. А медузы — древнейшие животные, они плавали еще в кембрийских морях.

Судостроители, копировавшие кита, в сущности, обязаны своим успехом невольному применению палеобионики: задолго до появления китов такую же форму тела имели ихтиозавры — стеноптеригий и эвринозавр. Ретинотрон (прибор, способный «замечать» только движущиеся предметы) считается имитацией глаза лягушки. Однако приоритет на это изобретение принадлежит тираннозавру.

Еще один пример, когда древние животные решают сложную задачу простыми способами, — антифляттерные приспособления стрекозы. Приспособления эти очень просты: на концах передней кромки крыльев имеется хитиновое утолщение — птеростигма, гасящая вредные колебания крыла. Инженеры самостоятельно пришли к той же идее. Достаточно было запаковать в крыло (в том месте, где у стрекозы находится птеростигма) свинцовую гиру, как опасность фляттера исчезла.

И вот что интересно: самые молодые и быстрокрылые «модели» стрекоз не имеют птеростигмы. Если бы мы выбрали наиболее совершенные прототипы, «патент» на птеростигму так и остался бы незамеченным, ведь птеростигма есть только у таких «устаревших конструкций», как сетчатокрылые и верблюбки.

Вообще, рассматривая живые прототипы в их историческом развитии, можно обнаружить, что один «патент» природы часто заменяется другим.

Древние жуки-плавунцы имели каплевидную обтекаемую форму. Но их потомки отказались от этой (традиционной для техники) формы. Туловища современных плавунцов, узкие в передней части, сзади расширяются.

Вероятно, это очень эффективная форма. Опытами установлено, что удаление двух крохотных выступов в расширенной части туловища плавунца повышает сопротивление движению на 122%. Парадокс: площадь поперечного сечения «фюзеляжа» уменьшается, а сопротивление возрастает!

Особенно полезен палеобионический подход в тех случаях, когда приходится решать изобретательские задачи, связанные с малоизученными процессами. Здесь природные прототипы могут стать главными ориентирами. Это подтверждает, например, история изобретения антикавитационных покрытий гидротехнических сооружений.

Кавитационное разрушение бетона плотин — явление, еще недостаточно исследованное. Многочисленные способы защиты, предлагавшиеся различными изобретателями, оказывались либо слишком дорогими, либо слишком ненадежными. Удачное решение задачи нашел Виталий Ильич Сахаров. Вот, как об этом рассказано в очерке, посвященном его изобретению:

«Однажды на берегу Черного моря Виталий Ильич заметил, что камни и валуны, покрытые водорослями или мхами, от ударов волн практически не разрушаются. Голые камни, лежащие совсем рядом, были испещрены бороздами и ямками. Нежный мох уберегал камень от разрушения. Отсюда был один шаг до технического воплощения идеи, уже осуществленной в природе»¹.

Авторское свидетельство № 279443, полученное В. И. Сахаровым, действительно точно воспроизводит древний «патент» природы: «Кавитационностойкое покрытие поверхностей, например, бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений, включающее защитный слой, отличающееся тем, что, с целью предотвращения непосредственного контакта кавитационных ударов с телом сооружения и образования прослойки неподвижной воды, защитный слой выполнен со свободно выступающими одним концом отдельными упругими стержнями, волокнами или пластинками».

От подсказки природы до технического осуществления идеи — один шаг... Почему же этот шаг был сделан с таким опозданием? Неужели нужно было вплотную

¹ «Знание — сила», 1971, № 2, стр. 7.

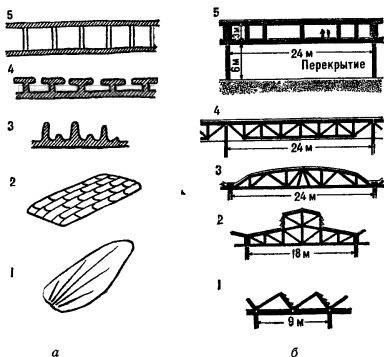


Рис. 32. Эволюция конструкций в природе и в технике: *а* — так развивалось надкрылье жука; *б* — так совершенствовалась конструкция перекрытий зданий.

столкнуться с готовым решением, чтобы увидеть его? Бетон — искусственный камень. Значит, достаточно задать вопрос: «Как защищаются от кавитации естественные камни?» — чтобы прийти к правильному ответу. Старые камни, заросшие мхом, потому и «доживают» до старости, что мох защищает их от разрушения. К этому выводу можно было прийти и вдали от Черного моря...

Восьмой шаг оперативной стадии АРИЗ рекомендует изобретателю не только отыскать древний прототип, но и определить направление развития природных конструкций. Нужно определить, **зачем** и **как** перестраивала природа тот или иной прототип. Палеонтолог А. Г. Пономаренко привел в письме ко мне интересный пример такого анализа (рис. 32, *а*).

«При создании надкрылья жука, — пишет А. Г. Пономаренко, — перед природой стояла задача разработать легкое, прочное и негибкое покрытие. Вот этапы этой

разработки: 1) тонкая пластинка, армированная неправильно расположенными продольными трубками; 2) трубки вытягиваются вдоль надкрылья; 3) число трубок уменьшается, а сами они превращаются в ребра жесткости; 4) ребра жесткости делаются шире в верхней части; 5) верхние части ребер сливаются, получается рамная конструкция с вертикальными полыми колонками. Конструкция легкая и весьма прочная».

На рис. 32, б показано развитие перекрытий здания. Нетрудно заметить, как много общего в развитии двух конструкций — природной и инженерной. Совпадение, конечно, не случайное: цели одинаковые (легкость, прочность), поэтому и решения сходны.

В АРИЗ-71 бионическому методу отведена относительно скромная роль. Но бионика быстро развивается. Увеличивается количество опубликованных работ, постепенно расшифровываются «патенты» природы, нащупываются общие принципы, лежащие в основе решения природой ее изобретательских задач.

В ближайшие годы появится возможность значительно усовершенствовать и развить эту часть алгоритма. Тогда алгоритм пополнится весьма эффективной таблицей, показывающей, как то или иное противоречие устраняется по «патентам» природы.

ЛОМАЯ СТАРУЮ ФОРМУ

Изобретение не самоцель, оно нужно для решения той или иной практической задачи. Из двух изобретений, дающих одинаковый технический результат, вообще говоря, предпочтительнее то, которое развивает уже известную модель, опирается на уже отработанную технологию. Такое изобретение легче внедрить, оно дает больший экономический эффект.

Как же в таком случае происходит нередкий в наше время переход к «совсем новым», оригинальным машинам?

Иногда такие машины создаются на основе новых научных открытий, но значительно чаще они возникают из старых, подобно тому, как бабочка возникает из совсем непохожей на нее куколки.

Обозначим исходную модель машины символом A_1 . Она состоит из отдельных частей, например двигателя, трансмиссии, органов управления, рабочих органов. Каждая часть имеет несколько узлов (так, трансмиссия автомашины, например, включает сцепление, коробку передач, карданный вал и т. д.), каждый узел состоит из деталей.

Изобретение может относиться к деталям, узлам или частям машины. Полученный при этом эффект отнюдь не определяется тем, на каком уровне сделано изобретение. В результате частичных изобретений машина постепенно совершенствуется, что символически можно изобразить таким рядом: $A_1, A_2, A_3, A_4 \dots A_n$. Наконец появляется изобретение A_{n+1} , которое хотя и относится (как все предыдущие) к одной детали (узлу, части) машины, но вызывает необходимость (или открывает возможность) существенно изменить все другие части. A_{n+1} оказывается равным B_1 и открывает новый ряд: $B_1, B_2, B_3 \dots B_n$.

Обычно новая техническая идея относится к какой-то одной части исходного объекта. Но это частичное изменение нередко создает возможность (а порой и вызывает необходимость) соответственно изменить другие части объекта, работающие совместно с измененной частью. Более того, появляется возможность изменить и методы использования всего объекта. Происходит своего рода цепная реакция: первоначальное частичное изменение влечет за собой цепочку других изменений. В результате слабая вначале идея крепнет, становится более сильной.

Изобретатель приступает к этой (синтетической) стадии творческой работы после того, как найдена техническая идея, решающая поставленную задачу. В большинстве случаев идея сначала бывает «частичной» — модель A_4 переходит в A_5 . Однако переход к A_5 создает возможность сделать еще один или несколько очевидных шагов: изменить одну часть (например, сделать легче, компактнее) или по-новому расположить. Приложив усилия, чтобы прийти от A_4 к A_5 , изобретатель как бы получает право на относительно легкий переход от A_5 к A_6 или A_7 . В некоторых случаях можно даже сразу перейти от A_5 к B_1 .

К сожалению, найденная идея чаще всего используется далеко не в той мере, в какой это возможно и следовало бы сделать. Изобретатель совершает лишь переход от A_n к A_{n+1} и на этом останавливается. Между тем новая модель машины A_{n+1} уже созрела для существенных изменений: кокон может превратиться в бабочку, но остается коконом из-за инерции изобретательского мышления.

На рис. 33 изображен первый мотороллер, созданный в 1920 году. Нетрудно заметить, что это обычный детский самокат, на котором установлен двигатель. Самокаты тоже появились не сразу. Применяя нашу символику, это ряд моделей $A_1, A_2, A_3 \dots A_n$. Когда на самокат поставили двигатель, модель A_n превратилась в A_{n+1} . Однако самокат остался самокатом: другие его части (и, следовательно, машина в целом) не претерпели изменений.

Конечно, самокат с двигателем лучше обыкновенного. Но возможности частичной идеи были использованы очень слабо. Обратите внимание, например, на высоко расположенное седло. Раньше такое расположение седла

вызывалось необходимостью: человек, выполнявший обязанности двигателя, должен был стоять — это его рабочая поза. Затем совершился переход от A_n к A_{n+1} : на самокат поставили двигатель внутреннего сгорания. Для чего теперь нужно высокое седло? Ведь водителю нет необходимости стоять, он может сидеть. А опустить седло — значит уменьшить высоту центра тяжести, сделать машину более устойчивой и лучше управляемой. Это, в свою очередь, даст возможность использовать более мощный двигатель, для которого, собственно, уже освободилось место под сиденьем водителя (ноги «ушли» вперед, под сиденьем образовалось свободное пространство). Стоящего во весь рост человека не прикроешь обтекателем — получится нечто слишком громоздкое. Другое дело, если водитель сидит: можно поставить обтекаемые щитки, которые значительно уменьшат сопротивление движению.

Так изобретение, меняющее одну часть машины (двигатель), приводит к каскаду изменений в других частях и, следовательно, во всей машине. Впрочем, вместо «приводит» правильнее сказать «могло привести». На практике судьба мотороллера сложилась иначе.

Частичное изобретение (замена двигателя) так и осталось частичным: A_n превратилось в A_{n+1} , и только в более поздних моделях седло постепенно опускалось, а двигатель постепенно перемещался под седло, к тому свободному пространству, которое словно специально для него предназначалось. Одна из таких промежуточных моделей показана на рис. 33, б. Двигатель уже

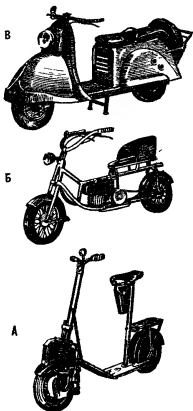


Рис 33 Путь совершенствования мотороллера:
А — модель 1920 г; Б — промежуточная модель, В — машина современного вида.

«ушел» с переднего колеса, но еще не «пришел» к заднему. Водитель почти сидит на двигателе, а под креслом остается свободное пространство...

Около трех десятилетий мотороллер был только диковинной забавой. В самом деле, если все равно приходится сидеть верхом на двигателе, то зачем нужен мотороллер, когда существуют мотоциклы?.. Но вот двигатель, завершив путешествие, ушел под седло мотороллера. Машина приобрела современный вид (рис. 33, а) и новые качества, которых нет у мотоцикла. Оказалось возможным полностью закрыть мотор. Освободилось очень удобное, прикрытое щитками место для ног водителя. Машина стала устойчивой, комфортабельной. На ней можно ездить даже в белой одежде. И мотороллер начал успешно (особенно в городах) конкурировать с мотоциклом.

История мотороллера — не исключение. В подавляющем большинстве случаев изобретатели, решив задачу и внося в объект то или иное частичное изменение, воздерживаются от других изменений, казалось бы очевидных и закономерных. Так, первые автомобили были сделаны из обычных колясок: выпрягли лошадей и «впрягли» мотор. У некоторых конструкций в передней части был даже расположен макет торса лошади!

Первый мотоцикл был велосипедом обычной для своего времени конструкции. Единственное отличие состояло в том, что на педали жал не человек, а двигатель внутреннего сгорания.

На рис. 34 изображено одно из новейших изобретений — машина для шовной сварки эластичного пластика. Ультрасовременная (и прогрессивная!) идея использования токов высокой частоты для сварки пластмассовых изделий облечена в допотопную конструктивную форму. Пока пластмассовые детали изделий соединялись нитками, годилась обычная швейная машина. Но вот рабочий орган машины кардинально изменен — вместо иглы и нитки появился ролик, на который подаются токи высокой частоты. Здесь, пользуясь нашей символикой, надо говорить не о переходе от A_n к A_{n+1} , а о стремительном рывке от ряда A к ряду B и даже V . Однако стремительного рывка не последовало — была создана типичная «автолошадь».

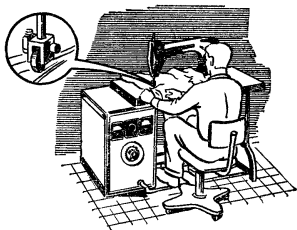


Рис. 34. Ультрасовременная идея облечена в архаическую конструктивную форму.

Традиционная компоновка швейной машины была обусловлена тем, что функции двигателя выполнял человек. Правой рукой он крутил вал машины, а левой регулировал подачу ткани под иглу. При ножном приводе эта компоновка тоже была целесообразна. Однако в машине, изображенной на рис. 34, шов образуется под действием токов высокой частоты, почему же теперь человек должен сидеть так, как он сидел, работая в качестве двигателя?!

Если электроаппаратуру спрятать под машину, вся установка станет значительно компактнее, ее можно будет прикрыть одним кожухом. А сидеть удобнее слева, в непосредственной близости к рабочему органу машины,— с этой стороны и должен находиться человек, обслуживающий сварочную машину для пластмассовых изделий.

* * *

Синтетическая стадия своеобразна. В отличие от предыдущих она, вообще говоря, не обязательна. Новая техническая идея, решающая изобретательскую задачу, возникает до синтетической стадии. А когда идея найдена, можно сразу переходить к ее конструкторской разработке. В большинстве случаев так именно и поступают. В результате изобретение остается частичным, хотя могло

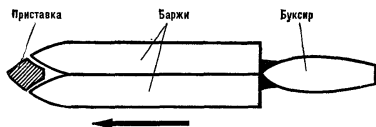


Рис. 35. Приставка-обтекатель.

бы стать первым звеном в длинной цепочке других изобретений.

Был, например, предложен способ толкать буксиром не одну баржу, а две, поставленные борт о борт. Однако при этом между носовыми оконечностями барж получалась широкая впадина, тормозящая движение состава. Казалось бы, сам собой напрашивался следующий шаг: надо прикрыть впадину приставкой, которая обеспечит обтекаемость (рис. 35). Однако эта идея (авторское свидетельство № 288575) появилась совсем недавно.

Своеобразие синтетической стадии в том, что ее шаги независимы друг от друга и просты, главное — не забыть их сделать. Но это опять-таки своеобразная простота. Предположим, что новая техническая идея привела от машины A_3 к A_4 . Тогда в результате синтетической стадии почти каждый изобретатель может прийти от A_4 к A_5 . Дальнейшее же продвижение всецело зависит от объема знаний (теоретических или приобретенных в процессе производственного опыта).

* * *

Взяв прототипом объект A_n , изобретатель может поставить две разные задачи. Можно сформулировать задачу так: «Перейти от A_n к A_{n+1} или даже, развив найденную идею, к A_{n+2} ». А можно поставить задачу иначе: «Минуя весь ряд от A_{n+1} до A_{n+m} , сразу выйти к B_1 ».

Иногда спрашивают: что лучше — совершенствовать имеющуюся машину (способ) или искать нечто совершенно новое? С таким же успехом можно допытываться: что лучше — стрелять на пять метров или на пятьсот километров?..

Все зависит от конкретных условий, и прежде всего от целей, которые ставит перед собой изобретатель или коллектив, решающий изобретательскую задачу. Если нужно, чтобы задача была решена как можно быстрее, то целесообразнее совершенствовать прототип. ИКР в этом случае формулируется так: «То, что есть, минус недостатки» или «То, что есть, плюс некоторое улучшение». При такой тактике задача решается сравнительно быстро (чаще всего на третьем уровне), а внедрение изобретения не вызывает особых трудностей. Если же нужно получить качественно новый эффект, целесообразнее сразу отказаться от прототипа, навязываемого условием задачи. **Прототипом должна быть идеальная машина (идеальный способ).** В таких случаях объектом в ИКР часто бывает «внешняя среда»: «Внешняя среда сама обеспечивает то-то и то-то». Слова «внешняя среда» помогают оторваться от старого, негодного прототипа и понять — что должна делать новая машина (новый способ), как она должна работать.

Действуя подобным образом, можно прийти к идее четвертого-пятого уровней. Но и внедрение изобретения потребует в этом случае значительно большего времени. Приходится «с нуля» разрабатывать конструкцию, многократно испытывать и переделывать ее, преодолевать недоверие и сомнения тех, кто привык оставаться в рамках совершенствования старого прототипа.

Оба пути хороши — в зависимости от конкретных обстоятельств. Но если вслед за A_n должно идти не A_{n+1} , а B_1 , то никакие попытки совершенствовать прототип (то есть изобретать, оставаясь в рамках A и не переходя к ряду B) не дадут положительного результата.

Историки техники и патентоведы подметили, что, когда прототип молод, он быстро и легко изменяется: за короткое время появляется много изобретений, направленных на его улучшение. Наблюдается своего рода «патентный пик». На этой основе некоторые исследователи предлагали прогнозировать перспективы развития технических объектов: чем круче поднимается кривая выдачи патентов и авторских свидетельств, тем перспективнее рассматриваемый технический объект. К сожалению, когда ряд $A_1, A_2...$ подходит к B , тоже возникает «патентный пик». Изобретатели напряженно работают, число изобретений быстро растет, но результаты почти неощутимы.

Сейчас такой «патентный пик» наблюдается, например, в цементной промышленности. Современная цементная печь — гигантская вращающаяся труба (длина до 250 м, диаметр до 7 м). Вдоль трубы медленно передвигается поток сырья, а над ним несутся раскаленные газы. Даже неспециалист может представить, насколько трудно передать тепло от газа к сырью: ведь газ соприкасается только с поверхностью сырьевого потока. Чтобы улучшить условия теплопередачи (от этого зависит производительность печи), давно было предложено навешивать внутри печи цепные завесы. Металлические цепи помогают переносу тепла от газа к сырью. После этого изобретения наступила пауза, тянувшаяся десятки лет. Если хотели улучшить теплопередачу, просто увеличивали количество цепей. В современной печи общий вес цепей свыше 100 тонн. И вот возник «патентный пик»: появился поток изобретений на тему «повесим цепи не так, а так»... «Цепная завеса выполнена с дополнительными цепями, закрепленными на основных цепях и свободно висящими между ними» (авторское свидетельство № 226453). «Концы цепей прикреплены к гибкому элементу, выполненному, например, из цепи» (260484). «Цепи другим концом прикреплены к корпусу печи» (310095). Цепи грозятся на цепи, как когда-то, до изобретения парохода, паруса громоздились на паруса...

Чем больше цепей будет в печи — тем большую долю тепла газов можно использовать. Но чем больше цепей — тем выше сопротивление движению газов. Чтобы газу было удобнее двигаться, цепей не должно быть вообще. А чтобы теплу удобнее было переходить от газа к сырью, все пространство печи должно быть заполнено цепями. Четко выраженное техническое противоречие! И если поток однотипных изобретений не справляется с противоречием, это верный признак, что возможности развития объекта (цепных завес) исчерпаны.

Для изобретателя (а тем более для коллектива, решающего технические задачи на уровне изобретений) чрезвычайно важно иметь представление о логике развития технических объектов. Это необходимо для прогнозирования новых технических задач, для выбора между прямым и обходным путями решения, для правильного анализа задачи и успешной разработки найденной идеи.

Технических объектов много, и они очень разнородны.

Но есть нечто общее, присущее всем техническим объектам: все они являются системами. При системном подходе технические объекты рассматриваются как целостные организмы, подчиняющиеся общим законам развития. Карманный фонарик, двигатель, тепловоз, химический завод, речной транспорт — все это примеры технических систем. Внешне они несколько не похожи друг на друга. Их объединяет то, что они системы, т. е. нечто большее, чем арифметическая сумма составных частей. Поясню аналогией. Молекула воды — система, а не арифметическая сумма двух атомов водорода и одного атома кислорода. Человек — система, а не простая сумма скелета, мышц, сердца и т. д. Точно так же любая машина — система, целостный организм, а не сумма частей.

Всякая техническая система — будь то швейная машина, шахта или сеть железных дорог — развивается в определенной последовательности. В приложении 2 дана **общая схема развития технических систем**. Давайте разберемся в ней.

История любой технической системы начинается с того, что... системы еще нет. Это первый — досистемный — уровень. Изобретатели понемногу совершенствуют отдельные элементы *А, Б, В*, хотя путем объединения элементов в систему можно получить новый эффект. Вот типичный пример. Чтобы сохранить корм, заготовленный на зиму для скота, нужно поддерживать определенную температуру. В корме выделяется тепло, приходится вентилировать и охлаждать кормохранилища; в этом направлении много лет работали изобретатели в разных странах. Есть патенты на сложные (и не очень надежные) системы поддержания заданного режима. А тем временем другие изобретатели создавали системы утепления и обогрева коровников, свинарников и т. д. Наконец, в авторском свидетельстве № 251801 появилась идея создания системы: «Сельскохозяйственная ферма, включающая помещение для содержания животных и башенные хранилища кормов, отличающаяся тем, что, с целью использования биотермического тепла кормохранилищ для улучшения микроклимата помещения при содержании животных, хранилища выполнены в виде линейного блока башен, встроенного в стену помещения для содержания животных». Система «кормохранилище и помещение для животных» обладает новым качеством:

нет необходимости охлаждать корм и нагревать помещение.

Когда система создана, она кажется естественной, очевидной. Но разглядеть будущую систему в разрозненных еще элементах — дело не такое простое. Здесь особенно нужно умение видеть проблему под углом зрения основных идей АРИЗ — я называю это **аризным мышлением**. Об одном таком случае рассказал изобретатель М. Шарапов в газете «Магнитогорский металл» за 26 апреля 1969 г.

Для удаления золы и шлака, рассказывает М. Шарапов, на комбинате применялся гидротранспорт. При проектировании предполагалось, что трубы будут изнашиваться из-за трения. Для увеличения срока службы линии было решено через определенное время поворачивать трубы, а транспортируемый шлак предварительно измельчать на дробилках. Трубы, однако, не изнашивались, а, наоборот, зарастали. Возникла задача: как удалять твердую корку, образующуюся на стенках внутри труб? Ее отбивали — это была весьма трудоемкая работа. Корку пытались сдирать, пропуская по трубам воду с коксом. Ручного труда при этом не было, но на время прочистки трубы процесс приходилось останавливать.

Зная методику решения изобретательских задач, Михаил Иванович Шарапов подошел к задаче иначе. ИКР очевиден: труба должна очищаться сама. Очевидно и другое: если борьба с вредным фактором оказывается безуспешной, целесообразно выбить клин клином, т. е. устранить вредный фактор за счет сложения с другим вредным фактором. В самой трубе нет «другого вредного фактора». Следовательно, надо объединить трубу с чем-то, создать такую систему, в которой «минус на минус даст плюс». Самое простое — найти трубы, которые не зарастают, а изнашиваются. Износ плюс зарастание дадут то, что требуется, — самоочистку. Найти изнашиваемые трубы оказалось легко: это были трубы для гидроудаления угольных отходов. Они изнашивались настолько сильно, что решено было вовсе отказаться от гидротранспорта и возить угольные отходы на автомашинах...

Две линии труб шли рядом. Но одни специалисты боролись с зарастанием труб, используемых для удаления золы и шлака, и интересовались только этим. А другие специалисты боролись с износом труб, предназначенных

для удаления угольных отходов, и тоже видели только свои трубы.

Шарапов предложил (авторские свидетельства № 212672 и № 239752) пропускать гидросмеси поочередно. Сначала щелочная вода, несущая золу и шлак, создает на стенках трубы корку — защитный слой гарниссажа. Потом этот слой (а не металл трубы!) сдвигается кислой водой, несущей угольные отходы. И в трубе снова создают слой гарниссажа... Можно транспортировать один вид материала, достаточно периодически менять щелочную воду на подкисленную, чередовать нарастание корки и ее сдвигание. Это изобретение сейчас успешно применяется на ряде предприятий.

Итак, запомним: **если число попыток усовершенствовать объект быстро растет, но вместо улучшения одно противоречие заменяется другим, надо объединить объект с другими объектами в новую техническую систему.**

Такой переход не всегда удается сразу, нередко из отдельных элементов сначала получается неустойчивая переходная система. На схеме (приложение 2) формулы таких систем условно взяты в круглые скобки, а формулы устойчивых систем — в квадратные скобки.

Примером систем, переходных от первого уровня ко второму, могут служить неоднократно строившиеся в XIX веке подводные лодки с паровыми двигателями. Изобретателям казалось само собой разумеющимся, что надо применять самый совершенный двигатель. А таким двигателем тогда была паровая машина... Подбор элемента для включения в систему надо основывать не на совершенстве вообще (т. е. не на совокупности показателей), а на совершенстве главного для данной системы показателя. В подводной лодке таким показателем был запас энергии для подводного хода. В паровом котле не удавалось запастись сколько-нибудь значительное количество пара и, следовательно, энергии. Несовершенный еще электродвигатель с тяжелыми батареями оказывался — по этому единственному показателю — более сильным. Система «подводная лодка и паровой двигатель» была неустойчивой; долгая жизнь ждала другую систему — «подводная лодка и электромотор с батареями».

Иногда недостающий элемент системы может быть заменен человеком. Первые самоходные экипажи имели паровые двигатели, и это делало их тяжелыми, гро-

моздками, неработоспособными. Устойчивой системой второго уровня оказался велосипед, в котором вес двигателя был равен нулю...

История техники знает множество неустойчивых систем, возникавших при переходе от второго уровня к третьему: весельный пароход, шагающий паровоз, оптический телеграф с машущими рычагами... Пытаясь заменить человека машиной (то есть перевести систему на третий уровень), изобретатели и по сей день нередко задерживаются на переходе 2—3: машина копирует действия человека, и это обусловлено не возможностями развития системы, а просто-напросто психологической инерцией. Порой такие изобретения по-своему изящны. Их общая беда — отсутствие существенных резервов для развития. Если прототипом оказывается такая система, почти всегда целесообразно не совершенствовать ее, а искать новый принцип действия.

Третий и четвертый уровни — наиболее типичные для современной техники. Молодые системы третьего уровня универсальны, зрелые — специализированы (уровень 3¹), старые — излишне специализированы. Узкая специализация — верный признак необходимости перехода на новый уровень, коренной перестройки всей системы.

Можно привести любопытный пример из стекольного производства. При изготовлении листового стекла раскаленная стеклянная лента поступает на валковый конвейер. Продвигаясь по этому конвейеру, она принимает требуемую форму и постепенно охлаждается. Понятно, что качество поверхности стекла зависит при этом от расстояния между валками. Если это расстояние велико, стеклянная лента будет прогибаться, станет волнистой. Чтобы получить гладкую поверхность, нужны валки возможно меньшего диаметра, тесно придвинутые друг к другу. Но такой конвейер будет сложным по устройству и капризным в эксплуатации. Мы снова встречаемся с четко выраженным техническим противоречием. Долгое время пытались обойти это противоречие, создавая специализированные линии для разных сортов стекла (есть сорта, которые не обязательно должны быть идеально плоскими) и оснащая заводы машинами, полирующими стекло после застывания. А потом было найдено поистине революционное решение.

Начнем мысленно уменьшать диаметр валка: санти-

метр, миллиметр, сотая доля миллиметра... Насколько же сложным должен быть конвейер с валками в сотую долю миллиметра! Вот вам психологический барьер: сотая доля миллиметра — страшно даже подумать, микрон или десятая доля микрона — совсем невообразимо... А если диаметр валка еще меньше? С молекулу или атом? Изготовить конвейер с валками диаметром в микрон практически невозможно. Но если диаметр валков соизмерим с диаметром атомов — все просто, потому что атомы не надо изготавливать. Пусть стекло катится по атомам, как по шарикам. Вместо конвейера — ванна расплавленного олова. Стеклопластиковая лента движется по ровному слою атомов. И не надо строить конвейер, не надо регулировать и ремонтировать валки. Жидкий металл не только идеальный конвейер, но и послушный инструмент: с помощью электромагнитов поверхности металла (следовательно, и поверхности стекла) можно придать любую форму. Прекрасное изобретение! Оно сразу же породило «патентный пик». Уже выданы сотни патентов и авторских свидетельств на всевозможные стеклообрабатывающие ванны.

Поднявшись на четвертый уровень, технические системы бурно растут, и в какой-то момент их рост впервые приводит к конфликту с внешней средой.

С древнейших времен техника формировалась, основываясь на том, что ей предоставляла природа. На нашей планете много воды и воздуха, поэтому техника наша насквозь «водная» и «воздушная»: вода и воздух были и остаются главнейшими технологическими инструментами. На нашей планете много кислорода — и техника наша «окислительная»: окислительные процессы были и остаются основой энергетики. На нашей планете много простора — и техника использовала и все еще использует **открытые схемы**: внешняя среда дает технической системе вещество и энергию, а техническая система выбрасывает во внешнюю среду отходы вещества и энергии, которые перерабатываются, уничтожаются внешней средой.

Природа была Универсальным Очистным Блоком, автоматически подсоединяемым к любой новой технической системе. Универсальный Очистный Блок обладал огромной, казалось, безграничной избыточной мощностью... И вот сейчас, когда все большее число техниче-

ских систем приближается к потолку четвертого уровня, Универсальный Очистный Блок начинает работать на пределе, в износном режиме.

Конфликт между техникой и природой затрагивает глубочайшие, изначальные основы технической цивилизации. Чтобы преодолеть этот конфликт, нужно перейти от «водной» и «воздушной» техники к «безводной»; и «безвоздушной», «от «кислородной» — к «бескислородной», от открытых технических систем — к закрытым. Этот переход неизбежен еще и потому, что человек вышел в космос, и если бы даже техника на Земле прекрасно уживалась с природой, космические условия все равно потребовали бы технических систем, рассчитанных на внеземные условия. **Основу будущей техники составят закрытые системы.** Их «закрытость» будет достигнута не за счет присоединения фильтров к уже имеющимся системам, а коренным изменением основ технологии. Здесь лежат не тронутые еще пласты изобретательских тем. Здесь скрыты проблемы, решение которых потребует великих изобретений.



ЧЕЛОВЕК И АЛГОРИТМ

Мы расшатали ваши умственные фильтры, и в результате появился ответ. Метод сработал, он будет действенным всегда. Все, что необходимо сделать,— это избавиться от лишнего груза предрассудков, от окаменевшего мусора в голове, изменить произвольную настройку ваших умственных фильтров в отношении других вещей, которые вам всегда хотелось сделать, и тогда удастся найти нужный ответ на любую проблему, какую вы только пожелаете исследовать.

Р. Джоунс

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ

На одном из семинаров по теории изобретательства слушателям была предложена такая задача:

«Допустим, 300 электронов должны были несколькими группами перейти с одного энергетического уровня на другой. Но квантовый переход совершился числом групп на две меньшим, поэтому в каждую группу вошло на 5 электронов больше. Каково число электронных групп? Эта сложная проблема до сих пор не решена».

Слушатели — высококвалифицированные инженеры — заявили, что они не берутся решать эту задачу:

— Тут квантовая физика, а мы — производственники. Раз другим не удалось, нам подавно не удастся...

Тогда я взял сборник задач по алгебре и прочитал текст задачи:

«Для отправки 300 пионеров в лагерь было заказано несколько автобусов, но так как к назначенному сроку два автобуса не прибыли, то в каждый автобус посадили на 5 пионеров больше, чем предполагалось. Сколько автобусов было заказано?»

Задача была решена мгновенно...

Изобретательская задача почти всегда имеет устрашающую окраску. В любой математической задаче есть более или менее явственный подтекст: «Меня вполне можно решить. Такие задачи уже неоднократно решались». Если математическая задача «не поддается», ни у кого не возникает мысли, что она вообще не решается. В задаче изобретательской подтекст совсем иной: «Меня уже пытались решать, да не вышло! Не зря умные люди считают, что тут ничего не поделаешь...»

В журнале «Изобретатель и рационализатор» была опубликована статья, рассказывающая о проблеме разгрузки смерзшихся грузов. Автор статьи так представлял читателям эту проблему:

«Одна из этих вековых трудностей, вот уже много лет досаждавшая шахтерам и металлургам, железнодорожникам и коксохимикам,— разгрузка смерзающихся грузов. От нее зависит иногда «жизнь и смерть» целых предприятий...»

Далее шло описание предложений, не нашедших применения («Меня уже пытались решать, да не вышло!»), и заканчивалась статья так:

«Стремительно летит быстротекущее время. Раскрываются загадочные тайны атомного ядра, чуткие уши радиотелескопов внимают шепоту далеких галактик... А пока руду выгружают по-старому, всем миром наваливаясь на нее с ломami и кирками».

С самого начала изобретатель предупрежден, что перед ним «одна из вековых трудностей». Еще не изложена задача, еще ничего конкретного не сказано, а изобретателя всячески пугают. Ведь не всякий отважится взяться за устранение «вековой трудности», да еще такой, которая не поддается даже тогда, когда «раскрываются загадочные тайны атомного ядра» и «чуткие уши радиотелескопов внимают шепоту далеких галактик»!

Проблема разгрузки смерзшихся грузов действительно «вековая». Однако «вековая» не обязательно значит трудная. Случается, конечно, что длительное время проблеме не удастся решить, несмотря на многочисленные и правильно ведущиеся атаки. Но такие случаи чрезвычайно редки. Производство выдвигает лишь те задачи, для решения которых уже имеются условия. Маркс писал: «...человечество ставит себе всегда только такие задачи, которые оно может разрешить, так как при ближайшем рассмотрении всегда оказывается, что сама задача возникает лишь тогда, когда материальные условия ее решения уже существуют или, по крайней мере, находятся в процессе становления». ¹

Если в течение длительного времени задача остается нерешенной, то это значит, что само направление поисков выбрано неверно. В этом случае даже легкая задача вполне может стать «вековой». Так, например, было с менисковым телескопом. Его могли изобрести, как подчеркивает Д. Д. Максудов, современники Декарта и Нью-

¹ К. Маркс. К критике политической экономии, Госполитиздат, 1952, стр. 8.

тона, а сделано изобретение было только в эпоху, когда «чуткие уши радиотелескопов внимают шепоту далеких галактик»...

Чем «вековечнее» задача, тем она обычно легче решается. В самом деле, когда задача появилась, уже были или создавались условия для ее решения. Каждая неудачная попытка решения уменьшала степень неопределенности задачи, сужала поле поисков. Шло время, степень трудности решения задачи уменьшалась, а арсенал техники непрерывно обогащался. Значит, изменилось соотношение сил: сама задача становилась легче, а средства ее решения росли, крепили. За редчайшим исключением, в технике нет задач, которые вообще (даже в будущем) не удалось бы решить. Невозможно нарушить основные законы природы — законы сохранения и законы диалектики, остальное если и невозможно, то лишь временно.

* * *

«Все, что человек способен представить в своем воображении, другие сумеют претворить в жизнь» — эти слова принадлежат Жюль Верну. Действительно, история научной фантастики дает яркие примеры превращения «невозможного» в «возможное».

В целом получается такая картина:

	Общее количество фантастических идей	Судьба фантастических идей					
		Сбылось или обязательно сбудется в ближайшее время		Подтвердилась принципиальная осуществимость		Оказались ошибочными или неосуществимыми	
		Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во	%
Ж. Верн	108	64	59	34	32	10	9
Г. Уэллс	86	57	66	20	23	9	11
А. Беляев	50	21	42	26	52	3	6

Столетняя история научной фантастики свидетельствует: у смелых идей большая вероятность осуществления, чем у идей осторожных.

Придуманый Ж. Вериом артиллерийский способ за-

пуска космических снарядов считался классическим примером «невозможного». И все-таки молодой ученый из университета в Монреале Джеральд Гоулл объявил о возможности использовать пушку для космических исследований.

По сравнению с достижениями ракетной космонавтики — запуском многотонных спутников, выходом человека в открытый космос, полетами на Луну — стрельба из жюльверновской пушки выглядит, конечно, не слишком внушительно. Однако у «пушечной космонавтики» неплохие перспективы: ведь на один пилотируемый аппарат приходится десятки беспилотных, которые проще и эффективнее запускать жюльверновским способом.

В печати появилось сообщение, что группа американских специалистов совместно с канадскими инженерами занялась разработкой проекта «Харп». Этим проектом предусматривается использовать для зондирования атмосферы артиллерийские орудия с диаметром ствола 127, 178 и 406 мм.

Закончено проектирование орудия с длиной ствола около 150 м. Вес его — 3 тыс. т, диаметр ствола — 814 мм. По расчетам разработчиков, с помощью этого орудия можно будет посылать контейнеры с аппаратурой весом около 7,5 т на высоту нескольких сот километров или выводить на орбиту вокруг Земли спутник весом 0,5 т. Стоимость вывода спутника составит всего 50 тыс. долларов, включая стоимость самого спутника.

Словом, если бы идею Ж. Верна не считали заведомо неосуществимой, то, возможно, еще в 20-е годы удалось бы вывести на орбиту искусственные спутники весом в несколько десятков килограммов...

Тут стоит напомнить, что и ракетные космические корабли могли бы появиться несколько раньше. Но не без оснований выдающийся советский исследователь Юрий Васильевич Кондратюк писал в 1928 году: «Перебирая в уме удивительные достижения науки и техники последних лет, невольно задаваясь вопросом, почему не решена на практике до сих пор задача межпланетных сообщений... приходишь к выводу: от недостатка дерзости и инициативы...»¹

¹ Кибальчич, Циолковский, Цандер, Кондратюк. Избранные труды. М., «Наука», 1964, стр. 539.

Недостаток дерзости и инициативы задержал и появление квантовых генераторов. Идея направленного теплового луча была высказана Г. Уэллсом в 1898 году. 21 год спустя А. Эйнштейн дал теоретическое обоснование физических процессов, делающих возможным создание квантовых генераторов. Лазеры, по мнению Ч. Таунса, могли появиться в конце 20-х годов. В 1951 году советский ученый В. Фабрикант подал заявку на квантовый генератор и... получил отказ: экспертиза сочла идею изобретения неосуществимой. Впоследствии экспертам пришлось пересмотреть это решение: изобретатель получил авторское свидетельство...

Близка к осуществлению и «невероятная» идея Александра Беляева о человеке-амфибии. Любопытно проследить, как постепенно менялась оценка этой идеи. Вот три высказывания, опубликованные в разное время одним и тем же человеком — инженером, автором нескольких изобретений.

1958 год: «...не люди-амфибии, а люди, вооруженные аппаратами для подводных спусков и плаваний, освоят неизведанные глубины».

1965 год: «Амфибий еще нет, может быть, их и не будет...»

1967 год: «Сейчас человек пробует без акваланга опуститься на большие глубины, дышать под водой, как дышат киты. И не появятся ли когда-нибудь созданные с участием химии, техники и медицины настоящие Ихтиандры? Море покорится этим людям, для которых воздух и вода станут одинаково привычными стихиями».

Меньше чем за десятилетие в корне изменилась оценка «невероятной» идеи! Теперь эта оценка значительно ближе к истине.

Нерешимых задач нет, но тем не менее история изобретения чаще всего начинается с того, что кто-то говорит: «Невозможно!»

Нет ни одного сколько-нибудь значительного изобретения, по поводу которого в свое время не было бы сказано «невозможно».

Причины, заставляющие говорить «невозможно», и доказательства невозможности бывают самые различные. Иногда действует простое невежество. Так, в 20-х годах прошлого столетия, когда уже были построены десятки

паровозов, влиятельный английский журнал «Куортерли Ревью» утверждал: «Нет ничего более смешного и глупого, чем обещание построить паровоз, который двигался бы в два раза быстрее почтовой кареты. Так же маловероятно, впрочем, что англичане доверят свою жизнь такой машине, как и то, что они дадут себя добровольно взорвать на ракете».

Вскоре паровоз Стефенсона «Ракета» провел пассажирский состав со скоростью около сорока километров в час...

Когда изобретатель телефона Грэхэм Белл начал продажу своих аппаратов, одна из американских газет потребовала, чтобы полиция положила конец «шарлатанскому вымаиванию денег из карманов доверчивой публики». Газета заявила: «Утверждение, что человеческий голос можно передать по обычному металлическому проводу с одного на другое место, является в высшей степени смешным...»

И все-таки невежество не главная причина, заставляющая говорить «невозможно». Чаще всего это говорят люди, которых никак нельзя заподозрить в невежестве. В воспоминаниях О. Пикара, изобретателя стратостата и батискафа, есть такие строки: «Специалисты того времени находили мои предложения неосуществимыми. То, что теперь для нас элементарно, тогда казалось утопией. Единственным возражением, которое выдвигали против меня, было: «все это до сих пор не существует». Как много раз приходилось мне слышать соображения такого рода...»

* * *

Что же побуждает знающего и вообще несколько не консервативного человека не верить в новое?

Вот характерный пример. Несколько лет назад один из крупных специалистов по автомобилестроению писал: «Допустим, нужно определить диаметр колеса будущего автомобиля. Уже известно, что из года в год наблюдается сокращение диаметра: взяв колеса разных автомобилей за 50 лет, можно увидеть, что уменьшение их становится все менее заметным: приближается момент, когда оно и вовсе остановится. Однако был короткий период, в течение которого диаметр колеса резко сократился; если ограничиться изучением только этого периода, мож-

но прийти к неправильному выводу: диаметр колеса через 20 лет дойдет до нуля!»¹

Внимательно проследите за ходом этого рассуждения. Исходная мысль абсолютно правильная: диаметр автомобильных колес из года в год уменьшается, и, зная эту тенденцию, можно заглянуть в будущее. Далее идет логический вывод: наступит момент, когда машина вообще лишится колес. Тут-то и появляется «невозможно». Во-первых, как так — автомобиль без колес, ведь «это до сих пор не существует!» Во-вторых, уменьшение диаметра колес становится все менее заметным. Значит, «невозможно»...

Попробуем, однако, разобраться в этих доводах.

Действительно, бесколесных автомобилей раньше не было. И мы к этому настолько привыкли, что трудно представить себе автомобиль, висящий над дорогой «без ничего». Но это еще не основание для категорического «невозможно». Просто мы не знаем, как это осуществить, хотя вообще очень заманчиво избавиться от колёс. Ведь они играют чисто служебную роль. Следовательно, стремление к уменьшению диаметра колес — тенденция отнюдь не случайная, и нельзя ожидать, что она сойдет на нет. Правда, колеса ниже какого-то предела практически не могут уменьшаться. Сам принцип, заложенный в конструкции колесного автомобиля, вступает в противоречие с тенденциями автомобилестроения.

История техники знает множество случаев, когда та или иная конструкция «не хотела» продолжать развиваться. Исход всегда был один — от такой конструкции отказывались. И если колеса автомобиля тоже пришли в противоречие прогрессивной технической тенденции, значит, пора подумать о бесколесном автомобиле.

Вывод этот полностью подтверждается практикой. Диаметр колеса, как это ни казалось невероятным, дошел до нуля: появились автомобили на воздушной подушке.

В развитии техники сочетаются два пути — эволюционный (в пределах одного уровня) и революционный (переход с одного уровня на другой). Схематически это развитие можно представить в виде ломаной линии с большим числом поворотов. Узкий специалист хорошо видит

¹ Ю. Долматовский. Повесть об автомобиле. 1958, стр. 214.

направление одного отрезка. Думая о будущем, он склонен видеть это будущее развитием настоящего, он как бы мысленно продолжает конечный отрезок линии. Понимая ограниченность существующих технических средств, специалист отчетливо видит нерешимые задачи, стену, в которую упирается мысленное продолжение данного отрезка. Но диалектика развития техники такова, что «нерешимые» задачи решаются «в обход» — принципиально новыми техническими средствами. И вот этого некоторые специалисты не понимают: трудности, неодолимые известными ныне технике средствами, они считают неодолимыми вообще.

«Невозможно» потому и возникает, что, не зная, как это произойдет, заранее говорят, что **этого вообще не может быть**. А надо сказать: будет, хотя пока неизвестно, как именно.

Изобретатель должен как бы перешагнуть через слово «невозможно», забыть на время о нем. Уже одного этого порой достаточно, чтобы почти автоматически прийти к новой технической идее. Конечно, может случиться так, что путь к решению окажется долгим и трудным. Но ведь и самый длинный путь начинается с первого шага.

* * *

Теоретически все очень просто: нужно не бояться слова «невозможно». Практически смелость вырабатывается постепенно, в процессе решения задач, кажущихся нерешимыми.

Вспомним, например, задачу о намотке проволоки на ферритовое колечко. Задача эта решалась на семинаре в Институте математики СО АН СССР. Анализ привел к выводу, что в задаче содержится противоречие типа «производительность — точность». В самом деле, намотку приходится вести ручную, и если мы захотим ускорить темпы, то неизбежно проиграем в качестве, то есть в точности намотки: витки лягут как попало. По таблице¹ противоречию типа «производительность — точность» соответствуют приемы 1, 10, 13, 31. Прием 1 — «Дробление» — исключается по условиям задачи. Разрезать колечко нельзя. Прием 10 — «Предварительное исполнение» — тоже исключается: нельзя произ-

¹ Использовалась таблица от АРИЗ-68.

вести намотку до изготовления (или в процессе изготовления) ферритового колечка. Принцип 13 — «Наоборот». Не наматывать проволоку, а разматывать? Не годится. Принцип 31 — «Использование магнитов и электромагнитов». Не подходит.

Затем последовал такой диалог между руководителем семинара (Р) и участником (У), решавшим задачу:

У: Может быть, я не так определил противоречие?

Р: Хорошо, попробуйте по-другому.

У: Можно сказать так: чем меньше диаметр колечка, тем ниже производительность. Противоречие типа «длина — производительность». Таблица дает приемы 13, 28. Или «длина — скорость». Приемы 13, 14, 34.

Р: Так что же?

У (нерешительно): Судя по таблице, надо использовать прием 13. То есть принцип «Наоборот». Но это невозможно.

Р: Почему?

У: Нам надо наматывать проволоку, а «Наоборот» означало бы в данном случае разматывать. Чтобы разматывать, нужны лишние витки, а откуда они возьмутся?

Р: Вот вы и подумайте, как получить лишние витки.

У: Без намотки? Но это невозможно.

Р: Пожалуйста, все-таки подумайте. А вдруг это пред-
рассветный эффект? Вам надо, чтобы на ферритовом сердечнике были лишние витки. Как это сделать?

У: Если намотка исключается... Нет, не знаю.

Р: Подумайте¹. Представьте себе тороид с лишними витками.

У: Ну, это легко.

Р: И как он выглядит?

У: Ферритовое колечко, обмотанное проволокой. Я хочу сказать, с избытком обмотанное проволокой.

Р: Что значит — с избытком? Попробуйте это представить зрительно.

У: С избытком — значит много витков. Прямо виток к витку. Без промежутков. Или даже так: все колечко покрыто тонким слоем металла. Получается как бы бесконечно большое число витков.

¹ На первых этапах освоения АРИЗ подобная ситуация бывает часто. Человек, в сущности, решает задачу самостоятельно, но приходится повторять: «Пожалуйста, думайте, пожалуйста, не останавливайтесь на полпути..»

Р: Видите, как хорошо; оказывается, бесконечно большое число витков можно намотать без всякой намотки... Теперь остается только убрать лишние витки.

У: Спиральная нарезка...

Р (не без ехидства): А разве это возможно?

У: Конечно. Собственно, могут быть самые различные, не только механические способы. Ведь мы теперь снимаем металл, делаем «пустые» витки по тонкому слою металла. Это намного проще, чем наматывать проволоку. Можно покрыть колечко еще при изготовлении тонким слоем фоточувствительной пленки, а затем спроецировать (сверху и снизу) оптическое изображение витков.

Р: Значит, годятся и прием 10 («Предварительное исполнение»), и прием 28 («Замена механической схемы оптической»).

У: Пожалуй. Но «Наоборот» подходит точнее. Прямо типичный случай, когда надо сделать обратное...

Вы начали решать задачу. Первый шаг еще не сделан, и вам кажется, что все впереди. Вы считаете, что можете пойти по любому направлению. Но это заблуждение! Даже в том случае, если вы «очистили» условия задачи от явной тенденциозности, инерция заставит вас двигаться в направлении, predetermined не явной (но существующей) тенденциозностью задачи.

Задача ставится в известных уже терминах. И эти термины отнюдь не остаются нейтральными, они стремятся сохранить присущее им содержание. Изобретение же состоит в том, чтобы придать старым терминам или их совокупности новое содержание.

Инерцией, присущей технической терминологии, прежде всего и объясняется инерция мышления. Изобретатель «думает словами», и эти слова — неощутимо для изобретателя! — подталкивают его в определенном направлении. Чаще всего в направлении уже известных технических идей, для которых и была создана терминология. Не случайно Ф. Энгельс говорил: «В науке каждая новая точка зрения влечет за собой революцию в ее технических терминах»¹.

¹ К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 23, стр. 31.

Вспомним хотя бы задачу о намотке. С самого начала формулировка задачи навязывала изобретателю определенное направление поисков. Нужно **нама-ты-вать** проволоку, говорилось в условиях задачи. Но почему **нама-ты-вать**? Только в силу инерции терминологии: ранее известные способы основывались именно на намотке, и вот новая задача была сформулирована в старых терминах. Между тем не нужна намотка сама по себе, надо иметь колечко со спиралью. Зачем же заранее усложнять задачу, вводя дополнительное требование — получить колечко со спиралью обязательно путем намотки?..

Конечно, если бы вопрос был поставлен так с самого начала, мы сказали бы: нет, намотка не обязательна, нужно только иметь колечко со спиралью... Беда, однако, в том, что опасная тенденциозность терминов становится видимой лишь после решения задачи. В начале же все кажется естественным: надо наматывать — что же еще?

На одном из семинаров была рассмотрена задача о переброске нефтепровода через ущелье. По условиям задачи устройство опор или подвески исключалось. Обычно в таких случаях изгибают нефтепровод в виде арки (обращенной выпуклостью вверх или — при больших пролетах — вниз). Но в задаче было сказано: трубопровод необходимо перебросить без прогибов.

Решение получилось тривиальное: «Нужно увеличить площадь поперечного сечения трубы».

В следующий раз та же задача формулировалась иначе: «Нефтепровод необходимо перебросить «без ничего» и «без прогибов». Таким образом, заменено было одно лишь слово: вместо «трубопровод» в задаче теперь говорилось «нефтепровод».

На этот раз среди решений оказалось и такое: «Прочность зависит от площади и формы поперечного сечения нефтепровода. Площадь менять нельзя по условию задачи (проигрыш в весе). Остается менять форму поперечного сечения. Пусть это будет **полый двутавр**. Тогда при том же расходе металла на единицу длины несущая способность нефтепровода повысится. Но такая форма сложнее в изготовлении. Однако двутавр (на этом участке) можно составить из двух труб (меньшего диаметра, чем основной трубопровод), расположенных одна над другой и соединенных вертикальными **связями**».

Вот к каким результатам привела замена одного только термина на более общий!

В первом случае в условиях задачи присутствовало слово «труба». И хотя нефтепровод не обязательно должен иметь в поперечном сечении форму трубы, но инерция мысли такова, что «сойти с рельсов» трудно, а они ведут в направлении малоперспективном. Как только слово «труба» исчезло из условий задачи, инерция мышления была погашена. В поле зрения сравнительно легко попала простая, но в данном случае новая мысль: **нефтепровод не обязательно должен быть трубой.**

Изобретателю необходимо учитывать стремление терминологии направлять мысль по привычному руслу. Нужно вести самоконтроль на всех стадиях АРИЗ: следить, чтобы в рассуждение не «просочились» специальные термины. Формулировки, соответствующие каждому шагу, должны быть предельно просты и свободны от технической терминологии.

Практика решения многочисленных задач на семинарах показывает, что лучшие результаты получаются при использовании не специальных терминов, а самых **обычных** слов. Потом, когда новая идея уже найдена, можно (и нужно) вновь вернуться к точной терминологии.

* * *

Давно подмечено, что многие изобретения были сделаны в три этапа. Сначала изобретатель напряженно и безуспешно ищет решение. Затем, так и не решив задачу, перестает о ней думать. Проходит некоторое время, и вдруг как бы срабатывает некий механизм замедленного действия: «само собой» приходит требуемое решение. Вот, например, что говорил об этом Гельмгольц:

«Каждый раз приходилось сперва всячески переворачивать свою задачу на все лады, так что все ее изгибы и сплетения залегали прочно в голове и могли быть снова пройдены наизусть, без помощи письма. Дойти до этого обыкновенно невозможно без долгой предварительной работы. Затем, когда прошло наступившее утомление, требовался часок полной телесной свежести и чувства спокойного благосостояния — и только тогда приходили хорошие идеи. Часто они являлись утром, при пробуждении, как замечал Гаусс (он установил закон индукции утром, перед вставанием)».

Можно привести еще один типичный пример. Известный русский бактериолог С. Н. Виноградский долгое время пытался разобраться в физиологии тогда еще не изученных серобактерий. «Я научился,— пишет С. Н. Виноградский,— пичкать их сероводородом, наблюдать, как быстро они наполняются серой и как затем, без сероводорода, сера эта быстро исчезает». Однако открыть механизм работы серобактерий долгое время не удавалось. «Вопрос не двигался с места. Ощущалось некоторое утомление им, и вот, ради отдыха, я стал больше сидеть в химической лаборатории, где занимался весьма скромными аналитическими упражнениями. Шел оттуда как-то домой, к обеду, и, дойдя до набережной, вспомнил сероводородную воду, которая, оставленная в стаканчике на столе, помутнела от выделившейся серы, а потом осветлела от окисления этой серы. И в этот момент, точно подсказанная этим банальным фактом, вдруг выпукло и ярко загорелась в голове мысль. бактерии мои сжигают серу в серную кислоту; затем сразу развернулась в голове вся их физиология. Дальше пошло как по маслу, и в несколько дней работа была закруглена».

Три фазы изобретательского творчества («поиск — выжидание — озарение») проявляются очень отчетливо. Это едва ли не единственная особенность творчества, которую можно часто наблюдать со стороны. Не случайно поэтому трехфазность служит (явно или неявно) исходной точкой для тех «объяснений» творчества, которые легко сводят весь процесс к чему-то одному. Обычно выделяют только последнюю фазу: «вдруг» появляется идея. Другие, наоборот, видят только первую фазу: «Надо искать, пытаться, пробовать...» Наконец, есть еще одно «объяснение» — оно делает упор на вторую фазу: «Надо наблюдать, всматриваться в окружающее, постоянно держать в мыслях задачу — что-нибудь послужит толчком, подскажет решение...»

Теперь, выяснив, как возникает инерция мышления, мы можем объективно разобраться в механике творческого процесса.

Задача ставится в терминах, обладающих инерцией и скрыто подталкивающих мысль в направлении, противоположном тому, где лежат новые идеи. Именно поэтому первая фаза творческого процесса (если он ведется бессистемно) обычно не приводит к решению задачи.

Изобразим условие задачи так:

$$A \rightleftarrows B \rightleftarrows V \rightleftarrows G$$

Каждая буква может обозначать, например, часть машины, а стрелки между буквами символически указывают на существующую между этими частями связь.

В результате первой фазы творческого процесса исходная формула еще не разрушается. Связи между частями машины лишь слегка ослабляются, расшатываются. Условно это можно записать так:

$$A \longleftrightarrow B \longleftrightarrow V \longleftrightarrow G$$

Наступает вторая фаза. Человек почти не думает о задаче. Но тут проявляется положительная роль инерции мышления. По инерции расшатанные связи между частями продолжают ослабляться и постепенно совсем рвутся:

$$A \quad B \quad V \quad G$$

Теперь изобретатель может легко переставлять части, менять характер связи между ними и т. д. В результате (без особого труда) возникает новая формула машины

$$V \rightleftarrows A \rightleftarrows G \rightleftarrows B$$

Если изобретатель работает бессистемно, ему нужно много времени на разрыв привычных «связей». АРИЗ делает процесс разрыва осознанным и планомерным.

СИЛА ФАНТАЗИИ

Стало прописной истиной, что фантазия играет огромную роль в любой творческой деятельности, в том числе и научно-технической. Но удивительный парадокс: признание величайшей ценности фантазии не сопровождается планомерными усилиями, направленными на ее развитие.

Пока единственным массовым и практически действенным средством развития фантазии является чтение научно-фантастической литературы (НФЛ). При этом наблюдается отчетливая закономерность: ученых и инженеров тянет к НФЛ значительно сильнее, чем других читателей. Несколько лет назад комиссия по научно-технической литературе Союза писателей Азербайджана провела анкетный опрос, в результате которого выяснилось, что 20% опрошенных инженеров и физиков предпочитают НФЛ другим литературным жанрам¹. Среди врачей, например, увлекающихся фантастикой вдвое меньше (9%).

52% опрошенных инженеров и физиков отметили, что ценят НФЛ прежде всего за новые научно-технические идеи. Действительно, в этом отношении НФЛ может дать думающему инженеру очень многое. Вплоть до темы, за разработку которой можно взяться, или даже до готового решения, которое остается лишь перевести на инженерный язык.

Недавно в ФРГ выдан патент № 1229969 с такой формулировкой предмета изобретения: «Способ добычи полезного ископаемого из космических месторождений, отличающийся тем, что в качестве месторождения выбирают астероид с небольшой собственной массой и такой орбитой, при которой возможны затраты на осуществление импульса для транспортирования астероида на

¹ См. Г. Альтов. Фантастика и читатели. Сб. «Проблемы социологии печати», вып. 2. Новосибирск, «Наука», 1970, стр. 79.

Землю». Человек, хорошо знающий фантастику, сразу отметит, что в числе авторов этого изобретения следовало бы указать Жюль Верна («Золотой метеор») и Александра Беляева («Звезда КЭЦ»).

Можно привести множество подобных примеров. Так, Жюль Верн впервые выдвинул и обосновал идею двойного корпуса подводной лодки (в романе «20 тысяч лье под водой»). Патент на двойной корпус был взят только через тридцать лет французским инженером Лебефом. Идея изложена в патентном описании не более детально, чем в романе Жюль Верна.

Такова же судьба другой идеи, высказанной в том же романе: получение электроэнергии за счет разности температур на поверхности и в глубине океана. Термоэлектричество было, конечно, известно и до Жюль Верна. Но Жюль Верн впервые высказал мысль об использовании перепада температур в океане. Открывая впоследствии станцию, основанную на использовании этого принципа, Клод прямо указал на роман Жюль Верна как на исходную точку своих работ.

Известны случаи еще более тесного взаимодействия НФЛ и техники. В одном из рассказов фантаста М. Шировера был описан прибор для обучения во время сна. По заданию М. Шировера инженер Э. Браун сконструировал «дормифон» — комбинацию патефона с электрическими часами и наушниками, и Р. Элиот применил этот аппарат для обучения студентов во время сна.

Идеи фантастов чаще всего прямо используются на ранних этапах развития новой отрасли науки или техники. В какой-то период (правда, очень короткий) фантастика оказывается одним из основных источников идей для возникающей отрасли знания. Так было, например, по свидетельству В. В. Парина и Р. М. Баевского, с космической биологией: «Наши писатели-фантасты изложили в своих произведениях много «кибернетических» идей, которые могут и должны быть взяты на вооружение космической биологией. Так, например, проблема регулируемого анабиоза имеет громадное значение не только для обеспечения межзвездных перелетов, но и для космических полетов большой продолжительности в пределах солнечной системы, которые, возможно, состоятся еще в нашем столетии. К сожалению, наиболее подробное рассмотрение этого вопроса содержится не в научной лите-

ратуре, а в романе И. Ефремова «Туманность Андромеды»¹.

Разумеется, научно-фантастическая литература далеко не всегда содержит идеи зрелые и правильные. Чаще читателю преподносят идеи сомнительные с научно-технической точки зрения или откровенно условные. Более того, нередко фантастическая идея полностью неверна. И все же в силу своей яркости, необычности она привлекает внимание исследователей, вызывает интенсивные поиски, приводящие порой к ценным открытиям или изобретениям.

Лауреат Ленинской премии Юрий Денисюк говорит: «Я решил придумать себе интересную тематику, взявшись за какую-то большую, на грани возможности оптики, задачу. И тут в памяти выплыл полузабытый рассказ И. Ефремова...» Речь идет о рассказе «Тени минувшего». В пещере, в результате редкого сочетания условий, возникло подобие фотоаппарата: узкий вход в пещеру сыграл роль входного отверстия камеры-обскуры, а противоположная входу стена, покрытая смолой, стала огромной фотопластинкой, запечатлевшей мгновения давно минувших эпох.

Денисюк подошел к проблеме иначе: а нельзя ли получать изображения вообще без объектива? Исследования привели к открытию одной из систем голографии. Но первый толчок все-таки был дан рассказом! «Я не только не отрицаю,— говорит Денисюк,— своеобразное участие И. Ефремова в моей работе, но подтверждаю его с удовольствием».

НФЛ помогает преодолевать психологические барьеры на путях к «безумным» идеям, без которых не может развиваться наука. Это тонкая и пока малоизученная функция НФЛ, становящейся элементом профессиональной тренировки ученого.

Обычно механизм воздействия фантазии состоит в том, что она вступает в реакцию с реальными «рабочими» мыслями. Суть этой реакции становится понятной, если воспользоваться схемой творческого процесса, предложенной академиком Б. М. Кедровым².

¹ «Известия Академии наук СССР». Серия биологическая, № 1, 1963, стр. 13.

² Б. М. Кедров. О теории научного открытия. Сб. «Научное творчество». М., «Наука», 1969, стр. 78—82.

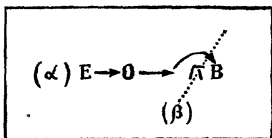


Рис. 36. Схема академика Б. М. Кедрова

В поисках решения задачи мысль человека движется в определенном направлении (α) от единичных фактов (E) к выявлению того особенного (O), что присуще этим фактам. Следующим шагом должно быть установление все-

общности (B), т. е. формулировка закона, теории и т. п. Переход от E к O не вызывает особой трудности, но дальнейший путь от O к B прегражден познавательным психологическим барьером (i). Нужен какой-то трамплин (P), позволяющий преодолеть барьер. Чаще всего таким трамплином бывает случайно возникающая ассоциация, причем появляется эта ассоциация при пересечении линии (α) с другой линией мыслей (β).

Научно-фантастическая литература хорошо работает в качестве линии (β).

Когда на семинаре решалась задача 7, один из участников сформулировал ИКР так: «Замыкалка» сама включает контакты при минимальном трении. Я спросил, почему не «без трения», а «при минимальном трении»? Последовал ответ: «По условиям задачи «замыкалка» должна касаться контактов. Раз есть соприкосновение, значит, есть и трение. Мы не избавимся от трения совсем — зачем же ставить несбыточный ИКР?» — «А почему бы, — настаивал я, — не представить себе сколь угодно тесное соприкосновение, но без всякого трения — и притом при обычной температуре, без сверхтекучести?» Тут стали возражать и другие участники семинара: «Получается, что вещество «замыкалки» должно проходить сквозь вещество контактов... Как это представить?»

Возник сильный психологический барьер, решение застопорилось. Тогда я рассказал эпизод из научно-фантастического романа Е. Войскунского и И. Лукодянова «Экипаж «Меконга». В этом романе речь идет об установке, придающей любому существу или предмету свойство проницаемости. Герой романа, став проницаемым, переходил улицу, задумался... и «наскочил» на автобус.

К изумлению окружающих человек как ни в чем не бывало прошел сквозь автобус!..

Кто-то вспомнил другую фантастическую повесть — в ней тоже действовал «проницаемый» человек. Припомнили и кинофильм о человеке, проходящем сквозь стены... За три минуты все настолько ощутимо представили себе проницаемость, что можно было вернуться к задаче: «Теперь вы видите, как «замыкалка» должна — в идеале — проходить сквозь выступающие пластинки контактов. Давайте это нарисуем. Шаг 3—2...»

НФЛ играет роль своего рода экспериментального поля для моделирования проблематических идей. Некоторые из этих идей со временем развиваются в научные гипотезы (если говорить о технике — в рационализаторские предложения, проекты, изобретения), т. е. полностью переходят в сферу науки и техники. Чаще всего НФЛ воздействует на творческий процесс косвенно, постепенно уменьшает психологическую инерцию, повышает восприимчивость к новому. На схеме Кедрова это можно показать как уменьшение высоты познавательного-психологического барьера и появление способности к самообразованию трамплина, т. е. к преодолению барьера без непосредственного внешнего воздействия линии (β).

Нельзя, конечно, сказать, что НФЛ стала незаменимым инструментом научно-технического творчества. Но она, безусловно, является одним из важных инструментов. Давно назрела необходимость взять фантастические идеи на учет, собрать их и тщательно проанализировать.

В 1964 году я начал составлять «Регистр современных научно-фантастических идей». Ныне в «Регистр» вошли почти все интересные идеи; они разделены на 12 классов, 75 подклассов, 406 групп и 2360 подгрупп. Анализ позволил ответить на вопрос, в каких случаях фантастические идеи оказываются удачными, в каких — ошибочными. Более того, начали проявляться некоторые закономерности в генерировании фантастических идей¹.

* * *

Чтение фантастики, безусловно, способствует развитию творческого воображения, но оно, конечно, не может

¹ См. Г. Альтов. Краски для фантазии. Сб. «Фантастика-71». М., «Молодая гвардия», 1971.

заменить регулярной тренировки. Фантазию надо развивать систематически путем специальных упражнений.

Одна из немногих попыток в этом направлении была предпринята профессором Стенфордского университета Джоном Арнольдом¹. По методу Арнольда предлагается решать изобретательские задачи в условиях воображаемой планеты Арктур IV. Эта придуманная планета отличается довольно своеобразными условиями: температура на ее поверхности в среднем на 100° ниже, чем на Земле; атмосфера состоит из метана, моря — из аммиака; сила тяжести в 10 раз больше земной; разумные существа похожи на птиц... Нужно преодолеть немало психологических барьеров, чтобы придумать, например, автомобиль или дом для условий Арктура IV. Регулярно решая подобные задачи, слушатели профессора Арнольда постепенно развивают умение преодолевать психологические барьеры.

К сожалению, метод Арнольда очень узок. В сущности, это одно упражнение в разных вариантах.

Для эффективного развития творческой фантазии нужна система упражнений и, главное, нужно обучение приемам фантазирования. Мало сказать: «Придумай то-то» — надо объяснить, какими приемами следует при этом пользоваться. (Приемы играют ту же роль, что и краски в живописи; не может быть и речи о том, что они мешают свободно фантазировать.) В этом направлении эксперименты ведутся Общественной лабораторией методики изобретательства при ЦС ВОИР. Разработан и проверяется на практике курс развития творческого воображения. Слушатели изучают приемы генерирования фантастических идей, приемы преодоления психологической инерции и используют эти приемы в специальных упражнениях или при решении изобретательских задач.

При разработке курса развития творческого воображения все упражнения сначала испытывались на писателях-фантастах. Это дало эталоны для сравнения, позволило построить своего рода «шкалу фантазии». Как правило, уровень развития фантазии до начала тренировок весьма невысок. Искра фантазии высекается с трудом — и тут же гаснет.

¹ См. Дж. Диксон. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. М., «Мир», 1969, стр. 39.

Это далеко не случайно. На протяжении всей эволюции человеческий мозг приспособлялся оперировать привычными представлениями. Нужны сотни и тысячи попыток, чтобы мысль, скованная привычными представлениями, преодолела психологические барьеры.

Вероятно, человеку ничего не знающему о гимнастике и впервые увидевшему гимнастические занятия, трудно понять, что это происходит: собрались взрослые люди, зачем-то без дела размахивают руками, подпрыгивают на месте, а потом расходятся, ничего не сделав и ничего не добыв... Столь же странными могут показаться стороннему наблюдателю и занятия по тренировке фантазии. А между тем это серьезная и очень напряженная работа. От занятия к занятию осваиваются приемы фантазирования: сначала простые (увеличить, уменьшить, сделать «наоборот» и т. д.), затем более сложные (сделать свойства объекта меняющимися во времени, изменить связь между объектом и средой), мысль приучается преодолевать психологические барьеры.

Предложите придумать фантастическое растение — и 10 человек из 10 обязательно начнут видоизменять цветок или дерево, то есть целый организм. А ведь можно опуститься на микроуровень: менять клетку растения, и тогда даже небольшие изменения на клеточном уровне дадут удивительные растения, которых нет и в самых фантастических романах. Можно подняться на макроуровень — и менять свойства леса: опять-таки здесь окажутся интересные и неожиданные находки.

Каждый объект (животное, растение, корабль, токарный станок и т. д.) имеет ряд главных характеристик: химический состав, физическое строение, микроструктуру («клетку») и макроструктуру («сообщество»), способ энергопитания, направление развития и т. д. Все характеристики могут быть изменены, и приемов изменения тоже десятки. Поэтому в курс развития воображения входит обучение фантограммам, тренировка в их составлении и использовании. Фантограмма — это таблица, на одной оси которой записаны меняющиеся характеристики объекта, а на другой — главные приемы изменения.

Богатство фантазии в значительной мере определяется обилием накопленных комбинаций, которые, в сущности, и составляют фантограмму. Но до тренировки мозг хранит лишь разрозненные осколки таких комбинаций. И

только у писателей-фантастов в результате профессиональной тренировки эти осколки складываются в подобие целой фантограммы.

Изучение техники фантазирования несколько не похоже на зазубривание шаблонных приемов. Одно и то же упражнение может быть выполнено по-разному в зависимости от личности человека. Здесь, как в музыке, технические приемы помогают раскрытию индивидуальных качеств, и интересно выполненные упражнения порой доставляют подлинно эстетическое удовольствие, как хорошо сыгранное музыкальное произведение.

ЧЕРЕЗ БАРЬЕРЫ

Вернемся теперь к учебным задачам, разберемся в их решениях.

Решение задачи 9

Нам нужно, чтобы в водоеме было больше кислорода. В пределе — столько, сколько может раствориться до полного насыщения. Следовательно, мы хотим увеличить количество вещества (кислорода). В таблице это двадцать шестая строка.

Предположим, для насыщения воды кислородом используется обычный способ: на берегу установлен мощный компрессор, по дну водоема проложены трубопроводы и в воду подается много кислорода (или воздуха). Содержание кислорода в воде, конечно, увеличится, но мы проиграем из-за сложности оборудования. В таблице это 36-я колонка (по вертикали). Рекомендуемые приемы: 3, 13, 27, 10. Если использовать химикаты, то они будут не только источником кислорода, но и причиной загрязнения водоема. Колонка 31 — «Вредные факторы, генерируемые самим объектом». Приемы: 3, 35, 40, 39.

Можно подойти к задаче иначе. Скажем, мы хотим уменьшить потери вещества (23-я строка) — и проигрываем в степени насыщения, т. е. в количестве вещества (26-я колонка). Приемы: 6, 3, 10, 24. Или так: снижая потери вещества обычными путями (т. е. замедляя подачу сжатого воздуха), мы проигрываем в производительности (39-я колонка). Приемы: 28, 35, 10, 23.

Таким образом, таблица настойчиво рекомендует принцип местного качества (3) и принцип предварительного исполнения (10). Отсюда не трудно прийти к решению: возьмем заранее часть воды и создадим для нее условия, благоприятствующие растворению кислорода. Это совпадает с контрольным ответом (авторское свидетельство № 168073): кислород распыляют под давлением в

небольшом объеме воды, а потом насыщенную кислородом воду вводят в придонные слои озера. Раньше кислород «выскакивал», не успевая раствориться, теперь у него для этого достаточно времени.

Решение задачи 10

Требуется увеличить **скорость** обработки, а расплачиваемся мы за это недопустимым увеличением **температуры**. Приемы: 28, 30, 36, 2. Прием 36 прямо относится к рассматриваемой ситуации: фазовые переходы могут сопровождаться значительным поглощением тепла. Полировальник должен плавиться или испаряться в том месте, где выделяется тепло.

Можно рассуждать и так: надо уменьшить **вредный фактор**, генерируемый объектом, а сделать это можно поступившись **скоростью или производительностью**. Приемы соответственно: 35, 28, 3, 23 и 22, 35, 18, 39. Используя идею изменения агрегатного состояния (прием 35), тоже легко прийти к правильному решению.

Контрольный ответ (авторское свидетельство № 192658): полировальник выполнен из льда, в котором находятся частицы абразива. При полировании лед постепенно плавится, поглощая выделяющееся тепло.

Решение задачи 11

2—3. Дана система: коробка — образец (проволока, стержень) — груз — агрессивная среда. Трудно определить момент разрыва образца (или падения груза).

2—4. а) Коробка, груз.

б) Образец и агрессивная среда.

(Образец и среда заданы условиями испытания — их нельзя менять; груз мы можем менять, сохраняя, однако, требуемую нагрузку на образец; коробку можно менять как угодно, лишь бы она оставалась герметичной.)

2—5. Коробка.

(Она снаружи — ее легче менять, чем груз. К тому же коробка неподвижна — см. примечание «а» к шагу 2—5 АРИЗ.)

3—1. Коробка без сквозных отверстий в стенках сама сообщает о моменте разрыва образца (или падения груза).

3—2. Сделать рисунок установки.

3—3. Не могут выполнить требуемого действия стенки коробки. (Можно сформулировать ответ на 3—3 еще точнее, указав на наружную поверхность стенок.)

3—4. При разрыве образца или падении груза стенки коробки (или их наружная поверхность) должны каким-то образом сами изменяться (ощутимо, сильно).

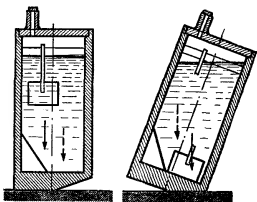


Рис. 37. Решение правильно, совпадает с ИКР; коробка сама сообщает о падении груза.

Можно более точно ответить на вопросы шага 3—4:

а) Стенка (дно) коробки должна быть подвижной — чтобы передавать наружу движение груза.

б) Стенка должна быть неподвижной — чтобы держать давление агрессивной среды, находящейся внутри коробки.

в) Стенка должна быть одновременно подвижной и неподвижной.

3—5. Чтобы совместить подвижность и неподвижность, стенка должна перемещаться целиком — вместе со всеми другими стенками. Тогда она будет одновременно неподвижной относительно других стенок и подвижной относительно опоры.

(Падение груза не видно из-за того, что его скрывают стенки. Значит, нужно, чтобы стенки не «гасили» падения: пусть груз, упав на дно, продолжает двигаться вместе с коробкой.)

3—6. Падение (перемещение) груза должно вызывать падение (перемещение) всей коробки. Сейчас вес груза уравнивается реакцией опоры. Значит, падение груза должно нарушать это равновесие.

3—7. Падение груза означает перемещение центра масс. Это перемещение может нарушить равновесие коробки и вызвать ее перемещение.

3—8. Мы приходим к конструкции (рис. 37), совпадающей с контрольным ответом (авторское свидетельство № 260249). Груз висит над расположенной внутри камеры наклонной плоскостью. Наружная поверхность дна камеры выполнена в виде двух плоскостей. При разрушении образца груз падает на наклонную плоскость, смещается к стенке камеры, равновесие нарушается и камера меняет положение, замыкая контакт сигнального устройства.

4—1. Такое решение совпадает с ИКР: камера сама дает сигнал о падении груза, конструкция при этом практически не усложняется. Правда, устройство будет работать лишь в том случае, если перемещение груза создаст достаточный опрокидывающий момент. А как быть, если вес груза очень мал по сравнению с весом всей камеры? Можно уменьшить площадь опорной поверхности: пусть камера находится в состоянии, близком к неустойчивому равновесию. Но это плохой путь: камера будет опрокидываться от случайных толчков, сотрясений и т. п.

4—2. Нам надо, чтобы на образец действовал **небольшой** груз, а после разрыва образца на камеру действовал **большой** груз. Снова к одному объекту предъявляются противоречивые требования. Можно, конечно, сделать, чтобы падение маленького грузика вызывало обвал большого груза. Но это заставит усложнить исходную схему... Лучше, если один и тот же груз будет легким для образца и тяжелым для камеры. Пока груз подвешен, часть его веса должна как-то исчезать. Для этого надо положить груз на наклонную плоскость, выбрав угол наклона так, чтобы на образец передавалась только требуемая по расчету часть веса груза. После разрушения образца груз сместится по плоскости к стенке и вызовет всем своим весом опрокидывание камеры. Наклонную плоскость можно сделать переставляемой.

4—3. Мы получили требуемый эффект — расширили область применения устройства, практически ничем не расплатившись. Устройство сохранило присущую ему простоту, но стало универсальным: теперь его можно применить для испытания тонких проволок, нитей и т. п.

4—4. Решение можно считать законченным: требования задачи выполнены полностью.

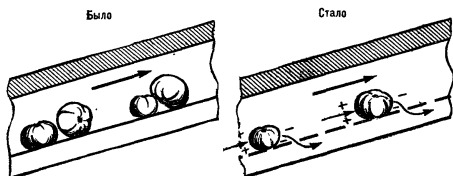


Рис. 38. К задаче 12, шаг 3—2.

Решение задачи 12

2—3. Дана система из трубы, воздушного потока и помидоров. Воздушный поток при транспортировке сталкивает помидоры друг с другом.

2—4. а) Труба, воздушный поток.

б) Помидоры.

2—5. Труба.

(Выбор сделан на основании примечания «а» к шагу 2—5.)

3—1. Труба при перемещении помидоров воздушным потоком сама тормозит слишком быстрые помидоры и подгоняет слишком медленные помидоры.

Здесь два действия: труба тормозит и подгоняет. А в формулировке ИКР всегда должно быть только одно действие. Разные действия в принципе могут осуществляться разными путями. Поэтому надо разделить нашу задачу на две задачи или переформулировать ИКР. Мы оставим одно действие: «Труба тормозит». Если бы она умела «подгонять», не нужен был бы воздушный поток: труба вообще двигала бы помидоры. А по условиям задачи надо сохранить пневматическую систему движения (то есть обходный путь в данном случае исключен условиями задачи).

3—1. Труба при перемещении помидоров воздушным потоком сама тормозит слишком быстрые помидоры.

3—2. См. рис. 38.

3—3. Не может тормозить слишком быстрые помидоры нижняя стенка трубы, по которой они катятся.

3—4. а) Нам надо, чтобы помидор, подошедший к какому-то месту трубы слишком рано, не мог пройти дальше.

б) Стенка трубы в этом месте не имеет препятствий и пропускает любые помидоры.

в) Одно и то же место в стенке трубы должно быть то «пропускающим», то «непропускающим».

3—5. На стенке трубы должны в нужный момент возникать и исчезать препятствия.

3—6. Помидор движется под действием воздушного потока. Чтобы помидор остановился, нужно в районе остановки уменьшить давление воздуха за помидором (или повысить давление воздуха перед помидором). В нужный момент в стенке должно образоваться отверстие — воздух уйдет в это отверстие. Таким образом, нижняя стенка трубы должна иметь периодически открываемые и закрываемые отверстия.

3—7. Открывать или закрывать отверстия сложно. Отверстия должны быть всегда открыты. Чтобы помидоры не проваливались, отверстия нужно сделать маленькими. Через отверстия мы можем нагнетать или отсасывать воздух. Надежнее отсасывать: это позволит при необходимости остановить помидор у того или иного отверстия.

3—8. Дно трубы имеет небольшие отверстия (рис. 39). Из отверстий отсасывается воздух: сначала из первого отверстия, затем из второго и т. д. Возникает бегущая волна разрежения; помидоры не будут двигаться быстрее этой волны.

Это решение совпадает с контрольным ответом (авторское свидетельство № 188364).

4—1. Мы получили возможность управлять движением помидоров, задавая нужный темп движения волны. Проигрыш — усложнение конструкции.

4—2. Чтобы упростить конструкцию, можно отказаться от подачи воздуха в трубу. Пусть бегущая волна разрежения сама передвигает помидоры от одного отверстия к другому. Если мы быстро переключим отсос с первого отверстия на второе, то воздух, втягиваемый во второе отверстие, подтянет помидор к этому отверстию. Затем переключим отсос на третье отверстие — помидор тоже перейдет к этому отверстию и т. д.

Когда помидор продвинется на три-четыре отверстия, снова начнется отсос воздуха из первого отверстия.

Нижнюю стенку трубы можно сделать широкой и одновременно двигать целые шеренги помидоров.

Решение задачи 13

2—2. а) Толщина пластин стремится к нулю. Допустим, толщина стала рав-

ной диаметру атома. Пла-
стины придется собирать из отдельных атомов.

б) Если толщина пластин 1000 км, тоже придется собирать пластины из отдельных частей.

в) Время изготовления изделия стремится к нулю. Придется заранее подготовить элементы и собрать изделие, пользуясь какой-то быстрой действующей силой.

г) Если на изготовление изделия дано 100 лет, можно использовать медленные естественные процессы, скажем, осаждение частиц из раствора.

д) Стоимость изготовления изделия равна 0. Пластины должны сами собой возникать и соединяться... Как? Может быть, за счет каких-то вредных сил? Тогда мы не только сведем к 0 стоимость изготовления, но и получим бесплатно дополнительный эффект.

е) Если допустимая стоимость очень высока, можно работать в условиях, когда меняются свойства материалов, например, соединять пластинки при обычной температуре, но очень высоком давлении.

Оператор РВС не дал готового решения. Так бывает почти всегда. Смысл применения оператора РВС в том, чтобы расшатать барьеры и тем самым облегчить дальнейшее решение.

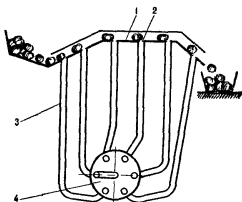


Рис. 39. Пневмотранспортер:
1 — корпус, 2 — отверстия, 3 —
патрубки, 4 — источник вакуума.

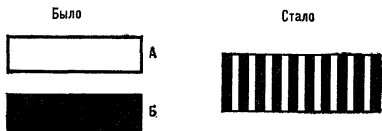


Рис. 40. К задаче 13, шаг 3—2.

2—3. Даны два материала — *А* (легкоплавкий и *Б* (тугоплавкий). Известными способами трудно получить из этих материалов тонкую «слоёнку».

2—4. а) Материал *А*, материал *Б*.

б) —

2—5. Материал *А*.

(Он легче плавится, то есть легче изменяется.)

3—1. Материал *А* сам образует «слоёнку» с материалом *Б*.

3—2. См. рис. 40.

Теперь видно, что процесс образования «слоёнки» состоит из двух действий. Надо, чтобы лежащие порознь материалы *А* и *Б* образовали один общий объем. А затем они должны определенным образом расположиться в этом объеме. Значит, можно уточнить ИКР.

Вот как уточнялся ИКР при решении этой задачи в Азербайджанском общественном институте изобретательского творчества (объектом был взят материал *Б*).

Слушатель: Материал *Б* сам влезает в *А* и упорядоченно располагается в нем.

Преподаватель: Здесь два действия: «влезает» и «упорядоченно располагается» — значит, и две задачи.

Слушатель: Первая легко решается. Чтобы материал *Б* «влез» в материал *А*, надо бросить *Б* в расплавленное *А*.

Преподаватель: Следовательно, мы можем заново сформулировать ИКР.

Слушатель: *Б* раздробилось, и частички сами расположились по плоскостям.

Преподаватель: Но здесь снова две задачи — «раздробить» и «расположить по плоскостям».



Рис. 41. Окончательный вариант шага 3—2 к задаче 13.

Слушатель: Раздробить легко. Можно заранее насыпать Б в виде порошка. Окончательная формулировка ИКР: порошок Б сам упорядоченно расположился в расплаве А (рис. 41)... Но если Б — магнитный материал, можно использовать магнитные силы. Они расположат частицы в определенном порядке. Потом расплав застывает — и задача решена.

Преподаватель: А если вещество Б из немагнитного материала?

Подсказки с мест: Использовать оптические силы... акустические... электрические...

Слушатель: Значит, есть следующие силы: электрические, магнитные, оптические, механические, акустические, ядерные...

Подсказка с места: Акустические! Создать в сосуде стоячие волны. Частицы Б соберутся в плоскостях, соответствующих узлам. В пучностях будет только вещество А.

Это соответствует контрольному ответу: «Способ изготовления материалов слоистой структуры с заданным расположением слоев, отличающийся тем, что с целью получения тонкой периодической пространственной структуры взвесь частиц тугоплавкого вещества в расплаве легкоплавкого подвергается воздействию стоячего ультразвукового поля соответствующей частоты с последующим устранением поля и быстрым охлаждением расплава» (авторское свидетельство № 108894).

Ход решения этой задачи интересен тем, что отчетливо показывает механизм анализа. В задаче с большим поисковым полем постепенно уменьшается степень неопределенности, и поисковое поле становится меньше и меньше. В конце концов, все сводится к вопросу: какими силами можно управлять немагнитным порошком, нахо-

дящимся в жидкой среде? Сложная изобретательская задача превратилась в простую, решаемую перебором нескольких вариантов.

В контрольном ответе сочетаются уже известные нам приемы (принцип дробления, принцип динамичности) и **физический эффект**, основанный на применении стоячих волн. Это типичная ситуация: упрощенная задача, полученная в результате анализа часто решается применением того или иного физического эффекта.

* * *

Есть изобретательские задачи, решенные только за счет использования физических эффектов и явлений. Вот, например, патент ГДР № 51194: для изменения диаметра дробинки используется влияние электрического поля на поверхностное натяжение жидкого металла; меняя интенсивность поля, управляют поверхностным натяжением, следовательно, и размером капелек, из которых получают дробинки.

Иногда изобретение непосредственно вытекает из нового открытия. Таковы многочисленные изобретения, основанные на электрогидравлическом эффекте.

Иногда в изобретении использовано открытие, сделанное в незапамятные времена. Например, авторское свидетельство № 306036: «Рейсфедер, содержащий ручку с двумя створками и винтовую пару для разведения створок, отличающийся тем, что с целью повышения точности регулирования раствора створок он снабжен редуцирующим элементом, выполненным в виде двуплечного рычага, одно плечо которого связано с винтовой парой, а другое контактирует со створкой рейсфедера». Изобретатель, как видим, применил рычаг — открытие, совершенное тысячелетия назад. Впрочем, здесь еще усматривается (хотя и где-то в глубине веков) исходное открытие. Бывает и так, что исходное открытие не имеет ни срока, ни автора, ни четкой формулировки. Взять хотя бы авторское свидетельство № 184219. «Способ непрерывного разрушения горных пород зарядами ВВ, отличающийся тем, что с целью получения мелких фракций, непрерывное разрушение поверхностного слоя производят микрочарядами...» Тут в первооснове сделанное неизвестно кем и неизвестно когда открытие, которое мо-

жно сформулировать примерно так: маленький молоток отбивает маленькие частицы, большой — большие...

Иногда говорят, что все изобретения (или все значительные изобретения) «происходят» от открытий. Если понимать термин «открытие» так, как он трактуется в изобретательском праве, можно сразу привести множество изобретений, не связанных с открытиями и в то же время бесспорно значительных и оригинальных. Например, патент США № 3440990: корабль состоит из отдельных взаимозаменяемых блоков — «ходовые» блоки не простаивают в ожидании разгрузки-погрузки «грузовых» блоков. Или авторское свидетельство № 305974: производительность стана, изготовляющего многослойные спиральношовные трубы, лимитировалась производительностью сварки; предложено лишь слегка — в нескольких точках — прихватывать шов сваркой, а затем снимать трубу со стана и производить плотную сварку вне стана, не задерживая изготовление следующей трубы. Тут не использованы физические эффекты и явления, хотя изобретательский подход к решению задачи виден вполне отчетливо.

Существует и противоположная тенденция сузить группу изобретений, основанных на физических эффектах: к этой группе относят только такие изобретения, которые непосредственно вытекают из недавно открытых (или старых, но необычных, малоизвестных) эффектов.

Оба уклона ошибочны. «Физические изобретения» представляют собой значительную, но не единственную группу. Сегодня еще нет возможности точно определить термин «физические изобретения» (правильнее: изобретения, непосредственно основанные на физических эффектах и явлениях), но это не отменяет необходимости изучать такие изобретения.

Физические эффекты и явления — костяк той самой физики, которую современный изобретатель годами изучает в школе и в институте. К сожалению, изобретательскому применению физики там не учат. Поэтому физические явления, законы, эффекты хотя и лежат в памяти инженера, но плохо стыкуются с информацией об изобретательских задачах. Изобретатель держит в руках связку ключей, но не умеет (не обучен) открывать этими ключами хитрые — с секретом! — замки изобретений: иногда наугад перебирает ключи, иногда, правильно вы-

брав ключ, не так его вставляет — и за все это расплачивается потерями времени.

Изобретателям надо присматриваться к давно знакомым эффектам и явлениям, приучаясь видеть в них рабочие инструменты для творческого решения изобретательских задач. Знания в этой области надо постоянно пополнять, потому что число открытых эффектов и явлений быстро растет, да и старые малоизвестные эффекты все чаще и чаще переходят в разряд действующих.

Хорошо бы иметь таблицу, показывающую — в зависимости от особенностей задачи — эффекты и явления, которые можно использовать в данном конкретном случае. Работа в этом направлении ведется Общественной лабораторией методики изобретательства при ЦС ВОИР.

Решение задачи 14

2—3. Дана система из трубопровода, насосов, жидкостей А и Б, движущихся по этой трубе, и разделителя, находящегося между А и Б. Разделитель не проходит через насосы, часто застревает в трубопроводе.

2—4. а) Разделитель.

б) Трубопровод, насосы, жидкости А и Б.

(Трубопровод и насосные станции уже построены, менять их трудно.)

2—5. Разделитель.

3—1. Разделитель сам легко проходит через насосы.

Разделители, легко проходящие через насосы, известны — это жидкие разделители, но у них свои недостатки: жидкие разделители трудно отделить в конечном пункте трубопровода. Мы взяли прототипом твердые разделители — и сузили задачу. Но брать в качестве прототипа только жидкие разделители тоже нельзя — мы приходим к выводу, что надо применить твердые разделители. На шаге 2—3 надо было указать оба типа разделителей.

2—3. Дана система из трубопровода, насосов, жидкостей А и Б, движущихся по этой трубе, и разделителей — твердого или жидкого. Твердый разделитель не проходит через насосы, а жидкий плохо отделяется в конечном пункте.

Теперь задача сформулирована точно. Более того, в условиях задачи отчетливо указано противоречие: на трассе лучше иметь жидкий разделитель, а в конечном пункте твердый. Следовательно, объект должен меняться

в процессе работы. Это уже знакомый нам принцип **динамизации** (прием 15). Пусть разделитель в трубопроводе будет жидким, а на конечном пункте — твердым или газообразным. Последнее даже удобнее: попав в резервуар (давление там меньше, чем в трубопроводе), разделитель **сам** уйдет из него. Смешивание разделителя с нефтью перестает быть опасным. Пусть разделитель к концу пути смешается с нефтепродуктами даже в значительной мере, все равно потом он превратится в газ, и его легко будет собрать.

Идея решения есть. Теперь надо сформулировать требования к веществу разделителя. Это вещество должно: не растворяться в нефтепродуктах;

быть химически инертным по отношению к углеводородам;

иметь (в жидком состоянии) плотность, примерно равную плотности перекачиваемых нефтепродуктов;

не замерзать при температуре по крайней мере до -50° ;

быть безопасным и дешевым.

По справочнику нетрудно обнаружить, что лучше всего для этой цели подходит аммиак: он не растворяется в нефтепродуктах и не взаимодействует с ними, имеет требуемую плотность, легко сжижается, не замерзает до -77° . Жидкий аммиак достаточно дешев, его, например, применяют в сельском хозяйстве для удобрения почвы.

НАУЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТВОРЧЕСТВА

Рассматривая ход решения задач, мы оставляли пока в стороне вопросы, связанные с предварительной творческой подготовкой изобретателя. Между тем ход решения во многом зависит от этой подготовки. При анкетных опросах изобретателей обнаруживается характерная особенность: чем опытнее¹ изобретатель, тем обстоятельнее его ответы о предварительной подготовке к решению изобретательских задач. Вот, например, что говорит в анкете львовский изобретатель В. Яхимович, имеющий 23 авторских свидетельства:

— Необходимо заранее вести подбор различных интересных конструкций, способов, устройств и т. п. Это задел без определенной пока цели, накопление фактов, опыта. Обязательно нужно изучать литературу, не относящуюся прямо к твоей специальности. Так, машиностроителям надо знать вообще массовое производство (полиграфию, кондитерскую технику, обувное производство), а также электротехнику и электронику.

Изучение творческого процесса мы начали с главного — с рациональной системы решения задач. Теперь, разобравшись в «технологии производства» новых технических идей, мы заново проследим весь творческий процесс и прежде всего основные направления предварительной творческой подготовки.

Изучать «ведущие» отрасли техники

Слово «ведущие» взято в кавычки потому, что в изобретательстве это понятие относительное. Каждая отрасль является одновременно и ведущей (по отношению к од-

¹ Разумеется, изобретательский опыт определяется не возрастом и не производственным стажем. Опыт изобретателя в какой-то мере пропорционален времени, в течение которого изобретатель непосредственно занимается творческой работой.

ним отраслям техники) и ведомой (по отношению к другим). Иногда взаимоотношения между отраслями более сложны: одна и та же отрасль оказывается в чем-то ведущей относительно другой, а в чем-то ведомой. Так, машиностроение — ведущая отрасль по отношению к строительной индустрии, когда речь идет об уровне организации производства, технологии, производительности труда: все это в машиностроении выше, чем в строительстве. Но в использовании предварительно напряженных конструкций строительная техника накопила такой опыт, какого машиностроение еще не имеет.

Изобретателю необходимо изучать ведущие отрасли, их главные (с изобретательской точки зрения) достижения, тенденции, новые методы. Иначе говоря, изобретатель должен постоянно следить за тем, какие задачи сегодня решаются в ведущей отрасли техники, потому что завтра сходные задачи могут возникнуть и в той отрасли, в которой он работает.

Изучать «ведомые» отрасли техники

Ни в одной из анкет изобретатели не написали о предварительной подготовке в этом направлении, и это, разумеется, не случайно. Знание «ведомых» отраслей техники нужно главным образом для синтетической стадии творческого процесса, которой изобретатели обычно уделяют недостаточно внимания.

В ведомых отраслях наибольший интерес для изобретателя представляют самые отстающие участки. Чем лучше изобретатель знает эти отстающие участки, тем шире он может использовать новую техническую идею, полученную в результате решения задачи.

Кроме того, изучение ведомых отраслей техники облегчает определение общих тенденций технического прогресса. «Ведущие» и «ведомые» отрасли — это как бы две точки, через которые можно провести только одну прямую, точно определяющую направление развития техники.

Собирать сведения о приемах решения технических задач, физических эффектах, новых материалах и т. д.

Мы познакомились с сорока основными приемами устранения технических противоречий. Нетрудно заметить, что эти приемы составляют пары «прием — обратный прием». Скажем, принцип дробления — и обратный ему принцип объединения; принцип непрерывного действия — и принцип импульсного (периодического) действия. Сразу возникает мысль: а нельзя ли пополнить список приемов, отыскав недостающие половины пар? Допустим, принципу проскока должен соответствовать антиприем, который можно назвать «на цыпочках»: вредные или опасные стадии процесса надо преодолевать замедленно, осторожно.

Тут надо еще раз подчеркнуть: таблица, которую мы использовали, носит общетехнический (точнее — среднетехнический) характер. Отраслевых алгоритмов пока нет, поэтому изобретатель — в зависимости от его специальности — может скорректировать список основных приемов: какие-то добавить, какие-то убрать. Это существенная часть предварительной творческой подготовки. Чтобы скорректировать приемы применительно к своей профессии, изобретателю придется пересмотреть свой творческий опыт, разобраться в нем, навести порядок.

Несколько сложнее обстоит дело с самостоятельной корректировкой таблицы. Не спешите записывать на первое место в соответствующих клеточках новые приемы, которые покажутся вам сильными. Такие приемы лучше записывать после тех, какие уже есть. И лишь потом, когда практика решения многих (по крайней мере — десяти) задач подтвердит силу нового приема, переносите его на первое место.

Можно пополнять набор приемов и не меняя таблицу: просто записывать подряд сильные (то есть новые и удачные) идеи. В этой книге приведено в общей сложности свыше 150 примеров. Если таких примеров будет 250—300, то каждая четвертая задача «сдастся без боя»: вы подберете почти готовое решение. (Разумеется, примеры должны быть разнообразные и оригинальные. А главное, они должны содержать хотя бы намек на какой-то более или менее общий принцип.) Имея картотеку на 500—600 примеров, можно приступать к решению задач с твердой

уверенностью в том, что вы быстро найдете правильный ответ.

Нет необходимости безгранично увеличивать коллекцию примеров. Когда их наберется 300—400, основное внимание надо перенести на повышение качества примеров. Заменяйте примеры аналогичными, но более четкими.

Источники примеров — патентные материалы, техническая литература, журналы (специальные и научно-популярные), газеты, производственный опыт и т. д.

Следить за патентной литературой

Исключительно важную роль в предварительной подготовке изобретателя играет изучение патентной литературы.

Есть два способа работы с патентной литературой. Первый состоит в том, что к патентам обращаются *после* выбора задачи. Так работают многие опытные изобретатели. При втором способе патентная литература просматривается **систематически**, вне зависимости от задач, над которыми работает изобретатель; перед решением конкретной задачи изобретатель дополнительно знакомится с соответствующими разделами патентной литературы.

У первого способа важная, но узкая цель: избежать затраты сил и времени на изобретение уже изобретенного.

Второй способ (рекомендуемый теорией изобретательства) предусматривает многоцелевое использование патентной литературы.

Чтение патентной литературы повышает творческое мастерство изобретателя. Описания изобретений — это, в сущности, технические задачи и удачные, а иногда не очень удачные ответы на них.

Из многообразной патентной литературы наибольший интерес с этой точки зрения представляет выходящий три раза в месяц бюллетень «Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки». В каждом номере бюллетеня сообщается о сотнях различных изобретений, причем по меньшей мере два-три из них могут быть приобщены к коллекции примеров.

Регулярно просматривая бюллетень, изобретатель получает представление о тенденциях развития техники,

знакомится с достижениями различных отраслей — словом, отчетливо видит передний край технической мысли.

Наконец, патентная литература — отличный темник. Она дает ценную информацию о том, какие именно задачи привлекают сейчас внимание изобретателей и на каком уровне они решаются.

Следить за литературой по теории изобретательского творчества

Специальная литература по теории изобретательства еще очень невелика, но есть немало книг и статей, в той или иной мере затрагивающих отдельные вопросы технологии творчества.

Изобретательское творчество — сложный процесс, и не удивительно, что высказывания, связанные с ним, бывают и глубокими, практически ценными, бывают и поверхностными, а порой и явно ошибочными.

Вот, например, статья кандидата технических наук А. Студенцова «Технология» творчества»¹. Позиция автора предельно проста: «Никакая эрудиция, никакое обучение не возместят здесь отсутствие таланта. Например, если бы Гау не изменил известный ручной шов на новый в две строчки, то не была бы изобретена швейная машина в том виде, как мы ее знаем». Итак, не родился Гау — не было бы современной швейной машины. По этой логике без Гутенберга и Федорова, конечно, не изобрели бы книгопечатание, а карданный подвес вообще чудом вошел в технику, ибо его изобретатель едва не умер в детстве.

Не сомневаюсь, что подобные высказывания будут попадаться еще не раз. Еще чаще будут встречаться высказывания менее категоричные, но проводящие ту же мысль о непознаваемости творческого процесса. Все равно надо читать и такие статьи: в них тоже бывают интересные и полезные примеры.

Особое внимание надо, конечно, обращать на литературу, относящуюся к методологии творчества. Однако относиться к этим материалам нужно критически. Дело в том, что довольно часто за новой терминологией скрываются старые мысли. Американский физик Джон Пирс

¹ «Изобретатель и рационализатор», 1961, № 12, стр. 24.

однажды не без горечи заметил: «Мной прочитано по теории информации и психологии значительно больше того, что я могу и даже хочу вспомнить. В большинстве случаев это были просто попытки связать новые термины со старыми и туманными идеями. Очевидно, авторы этих работ надеялись, что жонглирование новыми терминами как по мановению волшебной палочки прояснит все смутное и непонятное». Эти слова, к сожалению, в полной мере можно отнести и к некоторым книгам по методологии творчества. Старый метод «проб и ошибок» зачастую преподносится в новой, архисовременной одежде.

Еще в начале нашего столетия французский математик Анри Пуанкаре писал: «Я прибегну к простому сравнению. Пусть элементы наших будущих комбинаций представляют собой нечто похожее на крючкообразные атомы Эпикура. Тогда во время полного отдыха ума эти атомы неподвижны... в период невидимой бессознательной работы некоторые из атомов уже... пущены в движение... подобно газовым молекулам... теперь их взаимные столкновения могут повести к образованию новых комбинаций... И так как наша воля выбирала атомы не случайно, а преследовала совершенно определенную цель, то в числе мобилизованных элементов будут... те, от которых есть основание ожидать искомого решения»¹.

Как видите, тут теория «проб и ошибок» излагается без камуфляжа и даже с некоторыми поправками: Пуанкаре подчеркивает, что пробы ведутся не случайно. А вот что говорит современный американский психолог Лоуренс Фогель: «Процесс изобретения у человека является результатом сочетания внутреннего шума в мозгу с тщательным дедуктивным поиском, направленным на определение того, какой из генерируемых результатов подлежит немедленному использованию (т. е. какой из результатов удовлетворяет ограничениям, налагаемым необходимостью)»². Терминология, как видим, современная, на уровне кибернетики, а мысль старая. Мозг генерирует разные случаи и новые идеи («шумы»), а человек отбирает то, что годится...

¹ А. Пуанкаре. Математическое творчество. Юрьев, 1909, стр. 9.

² Л. Фогель. Интеллектуальные уровни решений. Сб. «Инженерная психология». М., «Прогресс», 1964, стр. 138—139.

Хочется надеяться, что читатель сможет разглядеть старые теории, как бы модернистски они ни выглядели. Не поддавайтесь гипнозу терминов, ищите мысли, стоящие за терминами. У нас есть надежный критерий — практика. Хороши те теории и методы, которые помогают в работе, организуют мысль, дают реальные результаты.

Накапливать опыт решения учебных задач

Решая задачу методом «проб и ошибок», изобретатель опирается на предшествующий опыт: припоминает похожие задачи из своей практики, обращается к патентной информации, пользуется сведениями из научно-технической литературы и производственной практики. В зависимости от уровня, на котором решается задача, тут возможны три случая:

1. На первом и втором уровнях предшествующий опыт помогает изобретателю.

2. На третьем уровне предшествующий опыт в среднем нейтрален: на нижних подуровнях третьего уровня он еще в какой-то мере полезен, на верхних подуровнях он начинает ощутимо уводить в сторону от решения.

3. На четвертом и пятом уровнях предшествующий опыт мешает изобретателю, направляя пробы по вектору инерции в сторону от решения.

Смысл АРИЗ в том, чтобы дать изобретателю опыт, полезный и на высших уровнях. Иначе говоря: АРИЗ должен делать мышление талантливым, должен давать управляемую «интуицию», закономерно появляющуюся и надежно работающую. На это нацелены все части АРИЗ, в особенности — его информационные элементы (приемы, таблица применения приемов). Если простой личный опыт изобретателя обычно ведет к решению низшего уровня, то коллективный изобретательский опыт, переработанный и сконцентрированный в АРИЗ, позволяет получать решения более высоких уровней.

Однако в процессе изучения АРИЗ у изобретателя появляется **новый личный опыт**, основанный на решении учебных задач, на разборе различных примеров и т. д. Этот **аризный** опыт, насыщенный сильными изобретательскими идеями и не омертвленный отраслевыми рамками, способен помогать и на высших уровнях.

Психологическая инерция, делающая обычный лич-

ный опыт вредным при решении задач на высших уровнях, становится полезной при использовании аризного опыта: в этом случае вектор инерции направлен как раз в сторону сильных решений. Можно сказать так: простой личный опыт подсказывает плохие образцы, аризный опыт дает хорошие образцы (из неожиданной и далекой отрасли техники).

Аризный опыт накапливается постепенно по мере обучения. Первое время он почти неощутим. Но когда разобраны 30—40 учебных задач, когда изучены 40 приемов с примерами, когда составлена картотека интересных изобретательских решений, тогда часть задач может быть решена без АРИЗ — прямым использованием аризного опыта.

После изучения 30—40 учебных задач текст АРИЗ-71 следует дополнить шагом 2—0:

2—0. Как решались **учебные** задачи, аналогичные по смыслу данной задаче?

- а) Сущность данной задачи.
- б) Техническое противоречие в данной задаче.
- в) Задача-аналог.
- г) Техническое противоречие в задаче-аналоге.
- д) Что аналогично в «б» и «г».
- е) Идея решения задачи-аналога.
- ж) Как изменить эту идею применительно к данной задаче.

Следует помнить, что при использовании аризного опыта надо переносить **смысл** идеи, а не конкретную конструкцию.

Рассмотрим, например, такую задачу:

Известен способ проходки тоннеля под действующим сооружением (например, в насыпи под железной дорогой), состоящий в том, что сквозь грунт продавливают (с применением вибраторов или без них) трубу, а затем извлекают грунт из внутренней полости трубы.

Толщина стенок продавливаемой трубы зависит от диаметра: чем больше диаметр, тем больше должна быть толщина стенок трубы. Но с увеличением толщины стенок недопустимо возрастает сила, необходимая для продавливания.

Нужен способ продавливания, лишенный этого недостатка.

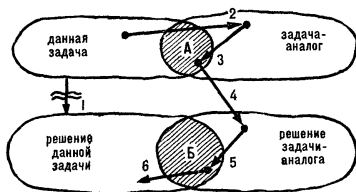


Рис 42 Задача-аналог помогает решить новую задачу

Используем для решения аризный опыт.

2—0. а) Сущность задачи: толстостенной трубе трудно двигаться в плотном грунте.

б) Увеличение скорости продавливания требует непомерного увеличения мощности продавливающих устройств.

в) Задача-аналог: движение ледокола сквозь лед.

г) Увеличение скорости движения сквозь лед требовало непомерного увеличения мощности двигателей.

д) В обоих случаях увеличение скорости движения объекта сквозь плотную среду требует недопустимого увеличения мощности.

е) Сквозь лед должен двигаться не сплошной, а полый корпус.

ж) Сквозь грунт должна двигаться не сплошная, а полая стенка.

Контрольный ответ: способ проходки тоннеля под действующим сооружением, например в насыпи под железной дорогой, с продавливанием элементов обделки и последующим извлечением грунтового ядра, отличающийся тем, что с целью уменьшения усилий, необходимых для продавливания, в качестве элементов обделки используют полые оболочки длиной, равной длине тоннеля, вдавливая их вдоль оси последнего, а затем полости оболочек освобождают от грунта и заполняют бетонной смесью (авторское свидетельство № 271555).

Смысл шага 2—0 можно проиллюстрировать такой схемой (рис. 42). Непосредственный переход 1 от данной

задачи к ее решению труден. Более простым может оказаться путь 2—3—4—5—6: от данной задачи к задаче-аналогу (2); потом к области А, общей для обеих задач (3); далее к известному уже решению задачи-аналога (4); оттуда к области Б, общей для обоих решений (5); затем к решению данной задачи (6).

Чем точнее выбрана задача-аналог, тем больше области А и Б и тем легче осуществляется переход 2—3—4—5—6. По мере накопления опыта переноса **область А может становиться все меньше**: изобретатель начинает улавливать тонкое отдаленное сходство между задачами. Подчас это тонкое сходство трудно выразить словами. Иногда оно даже отчетливо не создается изобретателем, а просто «чувствуется». Стороннему наблюдателю это кажется «осенением», «интуицией»...

Регулярные упражнения развивают способность работать при очень небольших областях А и Б, т. е. делают мышление острее, талантливее.

Учиться творческому мышлению

Первый семинар по методике решения изобретательских задач был проведен в Баку в 1959 году. Ныне творческая учеба налажена во многих городах нашей страны. Практика показывает, что уже после нескольких занятий слушатели начинают применять отдельные элементы АРИЗ: понятие о технических противоречиях, ИКР, типовые приемы. Решение задач все еще строится на методе «проб и ошибок», но сами пробы становятся более направленными и эффективными.

Чтобы полностью овладеть техникой решения задач по АРИЗ, нужны 20—30 занятий на семинаре, а затем — самостоятельная тренировка на протяжении нескольких месяцев: разбор учебных задач, решение новых задач, изучение учебно-методической литературы.

По мере освоения навыков направленного мышления, изобретатель все реже прибегает к подробным записям решения: сложные аризные мыслительные операции проводятся в уме — в виде свободного размышления. Задачи все чаще и чаще решаются глубоким применением отдельных фрагментов АРИЗ. **Многое гажется очевидным сразу — еще до решения.** Аргументация (в том числе рассуждение по шагам) приходит позже, когда «очевидное»

решение уже возникло. Появляется «личный почерк»: развитием (вольным или невольным) отдельных элементов АРИЗ вырабатывается индивидуальный стиль мышления. Изобретатель ведет систематическую заготовку ответов на еще неизвестные ему задачи: подбирает картотеку приемов, накапливает сведения о сильных решениях и т. д.

Аризное мышление только сейчас начинает становиться объектом изучения. Можно отметить лишь некоторые его особенности:

Обычное изобретательское мышление

1. Тенденция к облегчению, упрощению требований задачи.

Аризное мышление

1. Тенденция к утяжелению, усложнению требований задачи.

При решении задачи 7 обычный изобретатель думает: «Полностью устранить трение, конечно, невозможно. Моя задача — уменьшить трение». Изобретатель, привыкший мыслить по АРИЗ, рассуждает иначе: «Замыкалка» движется с трением. Чем меньше трение, тем лучше. Значит, трения вообще не должно быть. ИКР: «замыкалка» трется о контакты без трения...»

Когда об изобретателях говорят, что они сумасшедшие, в этом есть зерно истины: ход мыслей **хорошего** изобретателя «ненормален» с точки зрения неизобретателя. К сожалению, изобретатели намного чаще думают удручающе нормально... АРИЗ учит хорошему, «ненормальному» мышлению.

2. Тенденция к уклонению от «диких» ходов.

2. Стремление идти по пути увеличивающейся «дикости».

«Надо плавить или взрывать льды», — думает обычный изобретатель. Возможность плавить или взрывать корабль не приходит ему в голову или мгновенно отбрасывается. Это хорошо выявилось на опытах, при которых задачу 5 по таблице решали изобретатели, слабо знавшие АРИЗ. Таблица подсказывала: надо применить прием № 35 (изменение агрегатного состояния). Этот прием всегда привязывался ко льдам, а не к кораблю. В тех случаях, когда преподаватель прямо спрашивал: «А если

изменить агрегатное состояние корабля?» — это неизменно вызывало смех.

3. Зрительное представление об объекте нечеткое и привязанное к объекту-прототипу.

3. Зрительное представление об объекте четкое и привязанное к объекту — ИКР.

Обычный изобретатель видит некий ледокол (очень нечетко — в общих чертах), быстро ломающий льды. Аризное мышление рисует иную картину, нечто грузонесущее проходит сквозь льды словно их и нет.

4. Представление об объекте «плоское».

4. Представление об объекте «объемное»: виден не только объект, одновременно просматриваются его подсистемы и надсистема, в которую он входит.

Аризно мыслящий изобретатель видит не «ледокол вообще», а одновременно три изображения: ледокол, его части (гипертрофированную машинную часть и очень маленькую грузовую часть; мгновенная мысль — в идеальной машине было бы наоборот!) и караван, в который входит ледокол (еще одна мгновенная мысль: если мы даже сотрем лед в порошок, этот порошок будет сзади всплывать и смерзаться; одна задача тянет за собой другую — тут угадывается тупик).

5. Представление об объекте «сиюминутное».

5. Объект виден в историческом движении: каким он был вчера, какой он сейчас, каким он должен стать завтра (если сохранить линию развития).

6. Представление об объекте «жесткое».

6. Представление об объекте «пластичное», легко поддающееся сильным изменениям — в пространстве и во времени.

В задаче 7 груз («замыкалку») можно видеть «жестко» — в виде некоего падающего тела (как в ответе на

задачу 6). А можно увидеть этот груз сильно меняющимся даже за те доли секунды, пока длится падение. «Сильно меняющимся» — значит, меняющимся вплоть до превращения в нуль.

7. Память подсказывает близкие (и потому слабые) аналогии.

8 С годами усиливается барьер специализации.

9. Степень управляемости мышления не повышается.

7. Память подсказывает далекие (и потому сильные) аналогии, причем запас информации постоянно пополняется за счет собираемых принципов, приемов и т. д.

8. Барьер специализации постепенно разрушается.

9. Мышление становится все более управляемым: изобретатель видит ход мышления как бы со стороны, легко управляет процессом мышления (например, без затруднений отвлекается от «напрашивающихся» вариантов, легко выполняет мысленные эксперименты и т. д.).

Таковы некоторые черты аризного мышления. Конечно, порознь они встречаются и у обычного изобретателя. Но приобретаются они поздно — теряется лучшее для творчества время, а главное — сила этих качеств в ансамбле намного больше, чем порознь.

Правильно выбирать задачи

В этой книге мы уже не раз говорили о том, что изобретательское мастерство во многом определяется умением видеть тенденции развития техники. Выбирая задачу, связанную с тем или иным техническим объектом, надо прежде всего установить, в каком направлении развивается этот объект.

Можно привести такой пример. Одноковшовые экскаваторы (рис. 43, А) появились еще в 1836 году. Такой экскаватор работает с длительными паузами: нужно

время на транспортировку грунта, разгрузку ковша и возвращение его к рабочему положению. Прошло более столетия, и в 1949 году изобретатель Т. Г. Гедык предложил экскаватор с двумя стрелами (рис. 43, Б). Интересное по идее изобретение опоздало на полвека и не нашло (точнее, не успело найти) применения — вскоре появились вполне работоспособные роторные экскаваторы (рис. 43, В). Линия развития, таким образом, предельно ясна: один ковш — два ковша — множество ковшей (ротор). И вдруг в 1953 году кого-то «осенило»: а если четыре ковша?..

Четырехковшовый экскаватор (рис. 43, Г) — шаг назад по сравнению с роторным. Попытка вернуть технику во вчерашний день всегда безнадежна, и все же вот бесстрастное свидетельство: «Обращает на себя внимание огромное количество подобных предложений. Только в СССР за период

1952—1954 гг. количество заявок на подобные изобретения составило несколько десятков. Другие изобретатели полагали, что одноковшовые экскаваторы, особенно вскрышные, должны иметь еще большее количество одинаковых комплектов рабочего оборудования»¹. Конечно, ни одно из этих предложений не было осуществлено...

Техника идет только вперед, ее развитие нельзя ни повернуть вспять, ни остановить. Даже в тех случаях, когда

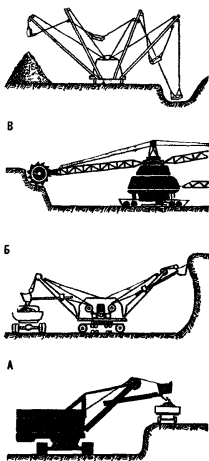


Рис. 43. Метаморфозы экскаватора

¹ П. А. Надаляк. Одноковшовые экскаваторы (очерк развития), 1960, стр. 55—56.

кажется, что следующий шаг сделать невозможно, этот шаг обязательно будет сделан.

Тенденции развития техники неодолимы; объект должен прийти к логическому завершению, круша и обходя всяческие «невозможно». Зато потом развитие словно прекращается. Здесь-то и возникают особенно интересные изобретательские задачи.

Главнейший признак этого «предпереворотного» состояния заключается в том, что начиная с некоторого момента технический объект растет только количественно, новый эффект достигается за счет увеличения размеров объекта или числа одновременно работающих объектов, а качественные изменения отсутствуют.

Взять хотя бы турбобур. Возможности, заложенные в конструкции, использованы почти до предела. Отсюда — совершенство турбобура. Но этим же объясняется и принципиальная невозможность резко увеличить мощность единичного агрегата. В результате пришлось громоздить турбобур на турбобур; появились двухсекционные турбобуры, состоящие из двух последовательно соединенных машин. Сейчас уже используют пятисекционные турбобуры...

Совершенство конструкции турбобуров не должно вводить изобретателя в заблуждение или нагонять на него страх. Для проходки скважин нужен агрегат, основанный на иных принципах.

Полезным инструментом при поиске новых изобретательских задач может служить «Общая схема развития технических систем» (приложение 2). Да и сам процесс решения задачи по АРИЗ позволяет корректировать исходную формулировку задачи. Изобретатель может начать и с неверно поставленной задачи: точное применение алгоритма выведет к правильной формулировке, даже если по ходу решения придется заменить одну задачу другой.

Искать обходные пути решения

Рациональная система решения задач была достаточно подробно изложена в предыдущих главах. Здесь хочется подчеркнуть: новые пути чаще всего обходные.

Рассмотрим, например, задачу о машине для мытья заводских окон. Вот как обычно пишут об этой задаче: «Мировая техническая мысль, уверенно овладевая высотами кибернетики, пасует перед такими «пустячными» проблемами, как создание механизмов для мытья высооченных окон и стеклянных фонарей цехов...»¹ Представим себе на минуту, что «мировая техническая мысль», так сказать, «не спасовала». Моечная машина создана. И что же? Потребуется колоссальное количество машин. Скорее всего они «съедят» больше энергии, чем сэкономят: ведь в заводских условиях многие стекла надо чистить почти непрерывно...

Допустим на минуту, что создана почти волшебная моечная машина: она ничего не стоит, работает, не затрачивая энергии и не требуя ухода. Хорошо? Нет! Достаточно солнцу зайти за облачко, как освещенность рабочего поля резко изменится, глаз, только-только приспособившийся к одной освещенности, вынужден сразу приспособиться к другой... На какую-то часть рабочего поля попадает прямой солнечный свет, а рядом (возможно, именно там, где нужен свет!) ляжет густая тень... Освещенность будет меняться в зависимости от времени года и суток, просто от изменений погоды...

Это звучит парадоксально, но грязные стекла играют в какой-то мере положительную роль, сглаживая колебания проходящего сквозь них светового потока!

«Мировая техническая мысль» не случайно «пасует» перед этой задачей: **ее вообще не надо решать**. Экономия электроэнергии и улучшение условий труда (освещенности рабочего места) должны быть достигнуты другими путями.

Приступая к решению задачи, надо обязательно искать обходные пути (шаги 1—2 и 1—3 в АРИЗ-71).

Одна из причин, по которой изобретатели избегают «обходных путей», заключается в нежелании или боязни выходить за привычные рамки узкой специальности. Все знают, что новое чаще всего возникает на стыках наук, но почему-то побаиваются этих стыков. Инженер-механик опасается рассматривать «химические решения», химик отмахивается от «электрических приемов»...

Решения высших уровней (четвертого-пятого) почти

¹ «Знание — сила», 1962, № 6, стр. 2.

всегда связаны с выходом за пределы своей специальности.

Приступая к решению задачи, изобретатель еще не знает — в какую именно область техники выведет его логика анализа. Поэтому изобретатель должен уметь быстро осваивать плацдармы за пределами своей специальности. Степень этого освоения, конечно, не будет слишком большой: ворвавшись в чужую область техники, изобретатель на первых порах остается дилетантом. При поисках решения это не опасно. Иное дело, когда начинается детальная разработка конструкции. Здесь уже нужны **профессиональные** знания. Изобретателю необходимо основательно прочувствовать новую для него область техники и, кроме того, работать коллективно — это во многих отношениях эффективнее.

Не рассчитывать на легкое внедрение

Проблемы, связанные с внедрением технических новшеств, чаще всего сводят к конфликту между новатором и консерватором. Действительно, в некоторых случаях консерватизм оказывается единственной преградой на пути к реализации изобретения. Однако в большинстве случаев внедрение тормозится иными причинами.

Советский изобретатель имеет все, чтобы преодолеть трудности, возникающие на пути новшества в цех, но он не должен рассчитывать, что внедрение произойдет «само собой».

Судьба предложения во многом определяется еще в процессе решения задачи. Надо так решать задачу, чтобы новая техническая идея оказалась легковнедряемой или даже самовнедряемой. Прежде всего **решение должно быть возможно более простым.**

Внедрение подчас затрудняется тем, что правильная идея конструктивно оформлена нерационально или даже просто неграмотно.

Существует наука о конструировании машин и механизмов. Хорошо, если изобретатель имеет навыки конструктора. Но если таких навыков нет, ни в коем случае не следует заниматься «самодеятельностью». Изобретатель всегда может найти — сам или при содействии организации ВОИР — квалифицированную помощь в конструкторской разработке своей идеи.

Теория изобретательства — не случайная находка, а закономерный этап в развитии науки.

В мае 1967 года в Тополчянке (Чехословакия) собрался первый международный коллоквиум по методологии творческого труда. В его программе было записано: «Мы исходим из общепризнанного факта, что современное количественное и качественное развитие научно-технической революции делает необходимыми для творческого научно-технического, инженерно-технического работника и изобретателя знания методологии науки и методики творческой работы». Проблема повышения продуктивности творческого мышления постепенно становится одной из главных проблем современной науки. Разработка изобретательских алгоритмов — лишь один из участков наступления, ведущегося наукой. Продвижение вперед идет здесь очень быстрыми темпами. С каждым годом алгоритмы становятся эффективнее и надежнее. Отчетливо видны пути дальнейшего их совершенствования, возможности тут далеко не исчерпаны.

Является ли АРИЗ единственно возможным алгоритмом изобретения?

Думаю, что нет. Создание других алгоритмов не исключено.

Намечаются два главных направления развития алгоритма. Можно развивать АРИЗ как программу решения задач **человеком**. Можно превратить АРИЗ в алгоритм для **машины**.

Первый путь ведет к созданию специализированных алгоритмов, прежде всего для задач в области химии и электротехники. Такие отраслевые алгоритмы должны быть — в пределах своего круга задач — эффективнее общетехнического АРИЗ, хотя внешне, вероятно, будут похожи на него.

Второй путь — выделение из АРИЗ таблицы, переход к системе таблиц и табличному способу решения, что в конечном счете позволит использовать электронные машины. Речь идет, конечно, не о простом увеличении числа строк и рядов в таблицах. Чтобы создать «изобретательские машины», необходимо изменить принцип построения таблиц.

Применение ЭВМ для решения изобретательских задач не отменяет творчества. Представьте себе человека,

который роет землю руками — это модель изобретения с помощью «проб и ошибок». Дадим теперь человеку инструменты — кирку, лопату, быть может, и отбойный молоток. Такова модель изобретения при использовании АРИЗ. Затем смоделируем процесс изобретения с применением ЭВМ — пересадим человека на экскаватор. Во всех случаях **работает человек**. И прогресс состоит в том, что мы лучше вооружаем человека: в одном случае — его руки, в другом — его мозг.

Сегодня большинство изобретателей еще работает методом «проб и ошибок», перебирая всевозможные «а если сделать так...» Грунт становится все тверже, а изобретатели скребут его голыми руками. Драматизм ситуации усугубляется тем, что многие исследователи изучают психологию человека, скребущего землю, и надеются открыть, так сказать, секреты удачного копания. Между тем уже сегодня можно дать землекопу эффективные инструменты, а завтра — посадить землекопа за пульт экскаватора.

Теория изобретательства находится в стадии становления. Ее можно сравнить с авиацией 20-х годов: еще кажутся диковинными полеты, еще многие предпочитают «топать по-старому» — пусть медленно, зато привычно, еще только нащупываются идеи, которые приведут к высоким взлетам.

Но работа идет.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Общая схема развития технических систем

Уровни	Структура системы	Проблемы, трудности, конфликты — источники задач	Типичные ошибки при решении задач	Основные пути дальнейшего развития
1	$A \ B \ B...$ Досистемный уровень. Независимые объекты.	Отдельные объекты исчерпывают возможности своего развития или применения.	Стремление продолжать улучшение отдельных объектов.	Объединение объектов в систему.
Переход 1—2	$(A+B...)$ Первоначальная неустойчивая система.	Отсутствие некоторых необходимых частей системы. Включение не тех частей. Части плохо стыкуются.	Включают наиболее развитый объект из ряда $A_1, A_2, A_3...$ Но он не всегда самый подходящий для данной системы.	Поиск объектов-«золушек». Замена недостающих объектов человеком $Ч$.
2	$[A+Ч+B+Ч+B...]$ Устойчивая система Объекты стали частями системы; каждая часть может работать независимо, но система дает продукцию только при действии всех ее частей.	Резервы развития системы ограничены возможностями человека, являющегося частью системы.	Стремление развивать части $A, B...$ сохраняя $Ч$ -части.	Замена $Ч$ -частей механизмами M .

Переход 2—3	$(A + M_ч + B + M_ч + \dots)$ Неустойчивая система Механизмы $M_ч$ копируют действия человека.	Механизмы $M_ч$, копиру- ющие действия человека, ограничивают возможнос- ти развития всей систе- мы.	Развивают элементы в отдельности, не учитывая, что теперь они составляют единую систему.	Переход от механиче- ского комплекса частей к синтетической системе из элементов, органично в нее входящих.
3	$[\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \dots]$ Устойчивая развиваю- щаяся система. Отдель- ные части стали элемен- тами $\mathcal{E}$ системы и, как правило, могут работать только совместно.	При улучшении одного элемента, резко ухуд- шаются другие элементы (или вся система в це- лом) — возникают техни- ческие противоречия.	Стремление выиг- рать в одном, не счита- ясь с потерями в другом.	Создание специализи- рованных систем.
3 ¹	$[\mathcal{E}'_1 + \mathcal{E}'_2 + \mathcal{E}'_3 + \mathcal{E}'_4 \dots]$ $[\mathcal{E}''_1 + \mathcal{E}''_2 + \mathcal{E}''_3 + \mathcal{E}''_4 \dots]$ Специализированные развивающиеся устойчи- вые системы.	По мере углубления специализации сужается область применения си- стемы, увеличиваются простои, ухудшаются эко- номические показатели.	Стремление продол- жать специализацию, создавая гамму спе- циализированных си- стем.	Коренная перестройка всей системы: переход к другим физическим или химическим принципам работы. Например, от ме- ханических к электриче- ским.

Уровни	Структура системы	Проблемы, трудности, конфликты — источники задач	Типичные ошибки при решении задач	Основные пути дальнейшего развития
Переход 3—4	$(\mathcal{E}'_1\mathcal{E}''_1+\mathcal{E}'_2\mathcal{E}''_2+\mathcal{E}'_3\mathcal{E}''_3\dots)$ Комбинированная неустойчивая система.	Резкое увеличение сложности системы. Снижение способности к развитию.	Продолжают поиски различных сочетаний элементов (подсистем).	Переход к другим физическим или химическим принципам работы.
	$[PC_1+PC_2+PC_3+\dots]$ Устойчивая развивающаяся система, основанная на новых принципах. Элементы системы быстро развиваются в подсистеме PC .	Развитие системы с какого-то момента приходит в конфликт с внешней средой, вызывая в ней недопустимые изменения.	Стремление сгладить конфликт подключением «буферных» подсистем.	Переход от открытой системы к закрытой, независимой от внешней среды.
Переход 4—5	Неустойчивая система. На время работы (или на часть этого времени) включается закрытая схема.	Усложнение схемы. Ограниченное время действия.	Продолжают улучшать отдельные подсистемы.	Коренная перестройка всей системы: переход к другим принципам работы. Например, от макропроцессов к микропроцессам на уровне молекул, атомов, элементарных частиц. Переход от

				«вещественных» инструментов к использованию электромагнитных и других полей.
5	Устойчивая развивающаяся закрытая система.	Постепенно возрастает число подсистем, составляющих систему.	Продолжают улучшать систему и ее подсистемы.	Переход к сверхсистеме: данная система включается в качестве элемента в систему более высокого уровня.
	$\{C_1+C_2+C_3+C_4+\dots\}$ Система саморазвивающихся систем.			

СОДЕРЖАНИЕ

Технология творчества

Иголка в стоге сена	5
Уровни творчества	23
Изобрести способ изобретать	47
Умением, а не числом	61
Идеальная машина	71
Технические противоречия	86

Диалектика изобретения

Шаг за шагом	101
Сплав логики, интуиции и опыта	120
Инструменты изобретателя	139
Как работает алгоритм	179
Несколько учебных задач	189
«Запатентовано» в палеозое...	210
Ломаю старую форму	221

Человек и алгоритм

Психологические барьеры	237
Сила фантазии	251
Через барьеры	259
Научная организация творчества	272
Приложения	291

Альтшуллер Генрих Саулович

АЛГОРИТМ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Заведующий редакцией *М. Теслечко* Редактор *С. Гуров* Художники *Г. Кованов, В. Ковынев, М. Симерханов*. Художественный редактор *Н. Изнатьев* Технический редактор *Л. Маракасова*. Корректор *Т. Сироткина*. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Московский рабочий», Москва, ул. Куйбышева, 21, Л52352. Сдано в набор 5/V 1973 г. Подписано к печати 31/VIII 1973 г. Формат бумаги 84 × 108 $\frac{1}{2}$. Усл. печ. л. 16,04. Уч. изд. л. 15,89. Тираж 80 000. БЗ—42—73 № 13 Цена 1 руб. Зак. 2404 Ордена Ленина типография «Красный пролетарий», Москва, Краснопролетарская, 16.

*ИЗДАНИЕ 2-е,
ИСПРАВЛЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ*

Альтшуллер Г. С.

А 58 Алгоритм изобретения. «Моск. рабочий»,
1973.

296 с.

Книга Г. С. Альтшуллера посвящена новой области знания — методике изобретательства. Первое ее издание, вышедшее в 1969 г., быстро разошлось. Судя по многочисленным отзывам, книга принесла несомненную пользу широкому кругу изобретателей и рационализаторов, разработчиков новой техники, сотрудников НИИ и проектно-конструкторских организаций, активу ВОИР. Алгоритмы решения изобретательских задач — АРИЗ, предлагаемые автором, доступны пониманию всех, кто интересуется техническим творчеством и обладает знаниями в пределах программы школы-десятилетки.

3-1-6

601

© Издательство «Московский рабочий», 1973 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИЕМОВ УСТРАНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ

Что нужно изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условиям задачи	Что недопустимо ухудшится, если использовать известные способы																																						
	вес подвижного объекта	вес неподвижного объекта	длина подвижного объекта	длина неподвижного объекта	площадь подвижного объекта	площадь неподвижного объекта	объем подвижного объекта	объем неподвижного объекта	скорость	сила	напряжение, давление	форма	устойчивость состава объекта	прочность	продолжительность действия подвижного объекта	продолжительность действия неподвижного объекта	температура	освещенность	энергия, расходуемая подвижным объектом	энергия, расходуемая неподвижным объектом	мощность	потери энергии	потери вещества	потери информации	потери времени	количество вещества	надежность	точность измерения	точность изготовления	вредные факторы, действующие на объект извне	вредные факторы, генерируемые самим объектом	удобство изготовления	удобство эксплуатации	удобство ремонта	адаптация, универсальность	сложность устройства	сложность контроля и измерения	степень автоматизации	производительность
1 Вес подвижного объекта	—	—	15, 8, 29, 34	—	29, 17, 38, 34	—	29, 2, 40, 28	—	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	—	6, 29, 4, 28	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	—	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
2 Вес неподвижного объекта	—	—	—	10, 1, 29, 35	—	35, 30, 13, 2	—	5, 35, 14, 2	—	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	—	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35	—	18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 13, 30	10, 15, 35, 26	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 27	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 3, 35	1, 28, 15, 35	
3 Длина подвижного объекта	8, 15, 29, 34	—	—	—	15, 17, 4	—	7, 17, 4, 35	—	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	—	10, 15, 19	32	8, 35, 24	—	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
4 Длина неподвижного объекта	—	35, 28, 40, 29	—	—	—	17, 7, 10, 40	—	35, 8, 2, 14	—	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	30, 37, 35	15, 14, 28, 26	—	1, 40, 35	3, 35, 39, 18	3, 25	—	—	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	30, 29, 14	—	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18	—	15, 17, 27	2, 25	3	Г, 35	1, 26	26	—	30, 14, 7, 26
5 Площадь подвижного объекта	2, 17, 29, 4	—	14, 15, 18, 4	—	—	—	7, 14, 17, 4	—	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	—	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	—	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
6 Площадь неподвижного объекта	—	30, 2, 14, 18	—	26, 7, 9, 39	—	—	—	—	—	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	—	2, 38	40	—	2, 10, 19, 30	35, 39, 38	—	—	—	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
7 Объем подвижного объекта	2, 26, 29, 40	—	1, 7, 4, 35	—	1, 7, 4, 17	—	—	—	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	—	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	—	35, 6, 13, 18	7, 45, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 2, 16	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
8 Объем неподвижного объекта	—	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	—	—	—	—	—	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	—	35, 34, 38	35, 6, 4	—	—	—	30, 6	—	10, 39, 35, 34	—	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	—	35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35	—	1	—	1, 31	2, 17, 26	—	35, 37, 10, 2
9 Скорость	8, 28, 13, 38	—	13, 14, 8	—	29, 30, 34	—	7, 29, 34	—	—	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	—	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	—	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26	—	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 35	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	
10 Сила	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	—	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 32, 1	35, 10, 14, 27	19, 2	—	35, 10, 21	—	19, 10, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	—	—	—	10, 37, 56	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 37, 36	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 16	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
11 Напряжение, давление	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	—	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 27	—	35, 39, 19, 2	—	14, 24, 10, 37	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37	—	—	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
12 Форма	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	—	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	—	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	—	4, 6	14	35, 29, 3, 5	—	—	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 4	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
13 Устойчивость состава объекта	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 39	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	—	17, 9, 15	13, 27, 35, 23	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4,																			